



Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební

## **Posouzení nových materiálů a technologií pro zesilování zděných konstrukcí**

Autoreferát k doktorské disertační práci:

### **The Assessment of new materials and technologies for strengthening of masonry constructions**

Ing. Marek Jašek

Studijní program: P3607 Stavební inženýrství

Obor studia: 3607V025 Teorie konstrukcí

Školitel: doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D.

**Ostrava, 2011**

**Disertační práce byla vypracována v externí formě studia na:**

Katedře pozemního stavitelství

Fakulty stavební

VŠB-TU Ostrava

**Předkladatel:**

Ing. Marek Jašek

Katedra pozemního stavitelství,

Fakulta stavební, VŠB-TU Ostrava

Ludvíka Podéště 1875

708 33 Ostrava

**Školitel:**

doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D.

Katedra pozemního stavitelství,

Fakulta stavební, VŠB-TU Ostrava

Ludvíka Podéště 1875

708 33 Ostrava

**Oponenti:**

.....  
.....  
.....

Autoreferát byl rozeslán dne:

Obhajoba disertační práce se koná dne ..... v ..... hodin před komisí pro obhajobu disertační práce postgraduálního doktorského studia v oboru 3607V025 Teorie konstrukcí v zasedací místnosti děkana Fakulty stavební VŠB TU Ostrava.

S disertační prací se je možno seznámit na studijním oddělení Fakulty stavební VŠB - TU Ostrava na Ludvíka Podéště 1875, 708 00 Ostrava-Poruba.

© Marek Jašek, 2011

ISBN 978-80-248-2469-7

## **Poděkování**

Děkuji svému školiteli doc. Ing. Jaroslavu Solařovi, Ph.D. za odborné vedení a připomínky k disertační práci. Dále doc. Ing. Jiřímu Brožovskému, Ph.D. a Ing. Davidu Mikoláškoví za podklady a konzultace k problematice modelování v systému ANSYS.

## Obsah

<b>Abstrakt .....</b>	<b>.....</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>.....</b>
<b>1 Úvod .....</b>	<b>1</b>
1.1 K problematice zesilování zděných sloupů a pilířů .....	1
1.2 Cíl disertační práce .....	1
<b>2 Statické působení zděných prvků .....</b>	<b>3</b>
2.1 Porušení zděného pilíře .....	3
2.2 Interakce zdicího prvku a malty .....	3
<b>3 Novodobé progresivní metody .....</b>	<b>5</b>
3.1 Technologie Helibeam .....	5
3.2 Kompozitní materiál ECC .....	5
3.3 Kompozitní materiál FRP .....	7
<b>4 Statické posouzení metod zesílení zděného sloupu .....</b>	<b>9</b>
4.1 Způsoby modelování zdiva .....	9
4.2 Výpočtový model zděného sloupu .....	9
4.2.1 Vstupní údaje .....	10
4.2.2 Posouzení únosnosti zděného sloupu .....	11
4.3 Statické posouzení zděného sloupu .....	11
4.3.1 Zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm .....	12
4.3.2 Zděný sloup o půdorysných rozměrech 290 x 290 mm .....	20
4.3.3 Zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 290 mm .....	22
<b>5 Technologické zhodnocení metod zesílení .....</b>	<b>25</b>
5.1 Technologické postupy jednotlivých metod .....	25
5.2 Finanční zhodnocení jednotlivých metod .....	25
5.2.1 Finanční zhodnocení metody zesílení pomocí ocelové bandáže .....	26
5.2.2 Finanční zhodnocení technologie Helibeam .....	27
5.2.3 Finanční zhodnocení metody zesílení pomocí ECC kompozitu .....	28
5.2.4 Finanční zhodnocení metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP ..	28
5.2.5 Porovnání jednotlivých metod zesílení .....	31
5.3 Časové zhodnocení jednotlivých metod zesílení .....	32
5.3.1 Časové zhodnocení metody zesílení pomocí ocelové bandáže .....	32
5.3.2 Časové zhodnocení technologie Helibeam .....	33
5.3.3 Časové zhodnocení metody zesílení pomocí ECC kompozitu .....	33
5.3.4 Časové zhodnocení metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP ....	34
5.3.5 Porovnání doby realizace jednotlivých metod zesílení .....	36
<b>6 Závěry pro realizaci v praxi a doporučení pro další postup ve výzkumu .</b>	<b>37</b>
6.1 Závěry pro realizaci v praxi .....	37
6.1.1 Statické posouzení jednotlivých metod zesílení .....	37
6.1.2 Technologické posouzení jednotlivých metod zesílení .....	37
6.2 Doporučení pro další postup ve výzkumu .....	38
<b>7 Literatura .....</b>	<b>39</b>
<b>Seznam vlastních publikací autora .....</b>	<b>40</b>

## **Abstrakt**

Při zesilování zděných sloupů a pilířů se často používá tradiční metoda zesílení pomocí ocelové bandáže. V posledních letech se rovněž objevují nové pokročilé inovační materiály a technologie. V rámci disertační práce jsou porovnány nové inovační materiály a technologie, které se vyskytují na stavebním trhu či jsou v pokročilé fázi výzkumu, a jedna vybraná tradiční metoda zesilování zděných konstrukcí (metoda zesílení pomocí ocelové bandáže) a to z hlediska:

1. Statického.
2. Technologického.
3. Ekonomického
4. Doby realizace.

### **Klíčová slova**

Zděný sloup, zesílení, ocelová bandáž, technologie Helibeam, cementový kompozit ECC, kompozitní materiál FRP, uhlíková tyčová výztuž, uhlíková lamela, uhlíková tkanina.

## **Abstract**

The traditional method of reinforcement using steel banding is often used for strengthening of masonry columns and pillars. In recent years, there are also new advanced materials and innovative technology. The thesis compares the new innovative materials and technology that occur in the construction market or are in an advanced stage of research, and a selected traditional method of strengthening masonry structures (amplification method using steel banding) in terms of:

1. Static.
2. Technology.
3. Economic.
4. Time of the realization.

### **Key words**

Brick column, strengthening, steel banding, technology Helibeam, cement composite ECC, FRP composite material, reinforced carbon rod, carbon plate, carbon cloth.

# 1 Úvod

## 1.1 K problematice zesilování zděných sloupů a pilířů

V posledních letech se můžeme setkat s novými pokročilými inovačními „high-tech“ materiály a technologiemi, které se již objevily na stavebním trhu nebo jsou teprve v pokročilé fázi výzkumu. Tyto „novodobé“ materiály a technologie se využívají nejen ve stavebnictví, ale i v jiných průmyslových odvětvích. Jedná se zejména např. o automobilní a letecký průmysl. Ve stavebnictví nacházejí využití nejen při návrhu nových konstrukcí a prvků, ale také při opravách, rekonstrukcích a zejména z důvodu stávajících konstrukcí při zesilování.

V současné době se pro zesilování zděných sloupů a pilířů používají především následující způsoby:

1. Zesílení pomocí ocelové bandáže (oplášťováním).
2. Přizděním (obezděním).
3. Obetonováním železobetonem.

Pro porovnání s novodobými metodami v rámci zpracování disertační práce je vybrána metoda zesílení pomocí ocelové bandáže. Zesílení se stává ze svislých úhelníků osazených v rozích zesilovaného prvku do maltového lože. Svislé úhelníky se v příčném směru spínají pomocí pásků z ploché oceli.

V současné době se však objevují některé nové progresivní metody. Jsou to především:

1. Zesílení pomocí technologie Helibeam.
2. Zesílení pomocí kompozitu ECC (Engineered Cementitious Composites).
3. Zesílení pomocí kompozitu FRP (Fiber Reinforced Polymers).

## 1.2 Cíl disertační práce

Cílem disertační práce je porovnání jedné vybrané tradiční metody zesilování zděných konstrukcí (metody zesílení ocelovou bandáží) s novými inovačními materiály a technologiemi vyskytující se na stavebním trhu či v pokročilé fázi výzkumu. Jako výchozí srovnávací vzorek je zvolen nezesílený zděný sloup. Porovnání je provedeno jak z hlediska statického, tak také z hlediska technologického.

Jako metody zesilování budou porovnány metody uvedené v kap. 1.1. Tedy:

- zesílení pomocí ocelové bandáže (jako tradiční metoda zesilování),
- zesílení pomocí technologie Helibeam fy Helifix,
- zesílení pomocí cementového kompozitu ECC (Engineered Cementitious Composites),

- zesílení kompozitním materiálem FRP (Fiber Reinforced Polymers) ve formě uhlíkových tyčových prvků, lamel a tkaniny.

Početní posouzení únosnosti a spolehlivosti zesílených zděných konstrukcí je realizováno na výpočetních modelech vypracovaných ve vhodném výpočetním software (program ANSYS verze 12).

Porovnání je provedeno na několika zděných prvcích (sloupech a pilířích) o různých půdorysných rozměrech (sloup o půdorysných rozměrech 290 x 290 mm, 440 x 290 mm a 440 x 440 mm) o dané výšce ( $v = 3,0$  m) při zesílení výše uvedenými metodami.

Jak již bylo uvedeno, výsledky výpočtů jsou porovnány z hlediska:

1. Statického.
2. Technologického.
3. Ekonomického
4. Doby realizace.

Výstupem disertační práce jsou:

1. Porovnání a zhodnocení vypočtených hodnot z hlediska statického  
- vlastností zesílených zděných konstrukcí (zejména pevností prvků v tlaku a tahu, dále deformace, tzn. poměrné příčné přetvoření).
2. Zhodnocení z hlediska technologického. Toto porovnání je provedeno z toho důvodu, že často finance, rychlost a náročnost realizace má zásadní vliv na rozhodování o způsobu zesilování zděných konstrukcí.

Výstupy disertační práce pak mohou najít uplatnění v projekční praxi  
- jako podklad pro návrhy zesilování zděných konstrukcí.

## **2 Statické působení zděných prvků**

### **2.1 Porušení zděného pilíře**

Zdivo lze charakterizovat jako nehomogenní křehký materiál, který se skládá ze dvou základních složek a to: ze zdicích prvků (v dřívější terminologii se používal výraz kusové stavivo) a malty.

Ve stavební praxi se často setkáváme se situací, kdy dochází k přetěžování stavebních konstrukcí či prvků, a to zejména v důsledku různých adaptací a nástaveb. Zděné konstrukce a prvky jsou většinou zatíženy svislými silami. Přetížením těchto stavebních konstrukcí či prvků dochází k drcení zdiva. Průběh drcení zdiva probíhá ve třech fázích (Witzany, 1990):

1. Drolení malty (jednotlivé trhliny),
2. lámání cihel (vážné narušení),
3. drcení zdiva (havarijní stav).

V první fázi začínají při rostoucím svislém normálovém zatížení vznikat podle únosnosti malt první jednotlivé trhliny ve styčných spárách, respektive v prodloužení styčných spár ve zdicích prvcích. Trhliny vznikají ve střední (vnitřní) třetině tlačného prvku. Ve druhé fázi dochází k rozvoji trhlín ve zděném prvku a trhliny se postupně šíří zdicím prvkem nahoru a dolů. V poslední fázi dochází k rozdělení zděného prvku průběžnými svislými trhlínami na několik zděných prvků a k dosažení mezního stavu únosnosti tlačného prvku.

### **2.2 Interakce zdicího prvku a malty**

Vlastní spolupůsobení mezi zdicím prvkem (např. cihlou) a maltou je ovlivněno mechanickými a fyzikálními vlastnostmi těchto materiálů. Jedná se zejména o pevnost v tahu a v tlaku a modul pružnosti (Youngův modul) neboli tuhost těchto prvků.

Stav přetvoření sloupů či pilířů ve střední třetině výšky zděného prvku, který je zatížen tlakovou normálovou silou kolmou na ložnou spáru (tzn. svislým tlakem), je charakterizován svislým poměrným stlačením a vodorovným poměrným roztažením. Dochází zde k interakci mezi zdicím prvkem a maltou v důsledku rozdílné pevnosti daných materiálů, resp. modulu pružnosti materiálů. Při návrhu zděné konstrukce či prvku se snažíme používat materiály přibližně stejných hodnot modulu pružnosti, neboť při použití materiálů s velkým rozdílem hodnot modulu pružnosti, resp. pevnosti, má za následek větší příčné přetvoření v důsledku rozdílnosti materiálů. Příčinou porušení zděného prvku zatíženého tlakovou normálovou silou



kolmou na ložnou spáru je vyčerpání mezní únosnosti zděného prvku v tlaku v důsledku vzniku a rozvoje svislých tahových trhlin.

Konkrétní průběh vzájemného spolupůsobení zdicího prvku a malty je závislý na pevnostních vlastnostech daných materiálů a lze ho rozdělit na 3 případy (Solař, 2008):

1. Při použití malty s velmi malou pevností je vzájemná soudržnost (adheze) zdicího prvku a malty velmi malá a následkem tlakového normálového zatížení je malta postupně „vytlačována“ ven z ložných spár.
2. Pokud použijeme pro zděný prvek běžnou maltu s pevností do 5 MPa dochází zde už k vzájemnému spolupůsobení zdicího prvku a malty, která je zajišťována soudržností (adhezi) obou materiálu. Zdicí prvek a malta mají přibližně stejnou příčnou poměrnou deformaci. V důsledku větší pevnosti zdicího prvku  $R_c$  než malty  $R_m$ , resp. modulu pružnosti zdicího prvku  $E_c$  než malty  $E_m$ , má malta tendenci k většímu poměrnému příčnému přetvoření. Malta je pak příčně „tlačena“ a zdicí prvky jsou příčně „taženy“. Vzniku svislých trhlin a následnému porušení tlačенého zděného prvku může předcházet vznik svislých tahových trhlin ve zdicích prvcích, resp. ve styčných maltových spárách.
3. Je-li pevnostní třída malty ( $>5$  MPa, což jsou cementové malty) vyšší než zdicích prvků, tak princip vzájemného spolupůsobení je totožné jako u předešlého případu jen s tím rozdílem, že vzájemné působení je opačné. Malta má vyšší modul pružnosti než zdicí prvky  $E_m > E_c$ . Zdicí prvky mají tedy tendenci k většímu poměrnému příčnému přetvoření, tzn. že jsou příčně „tlačeny“ a malta je pak příčně „tažena“. První rozvoj tahových trhlin pak můžeme objevit v ložných maltových spárách nebo současně ve zdicích prvcích.

### **3 Novodobé progresivní metody**

Kompozitní materiál je materiál, který se skládá ze dvou nebo více materiálových složek s rozdílnými vlastnostmi. Výsledkem pak bývá nový materiál s novými vlastnostmi.

Pro kompozitní materiály je charakteristický synergický účinek, což znamená, že vlastnosti kompozitního materiálu jsou lepší než součet vlastností jednotlivých složek a vykazuje kvalitativně nové vlastnosti (synergický účinek - “ $1 + 1 = 3$ “).

Použití prvních kompozitních materiálů můžeme nalézt již v první fázi lidské činnosti, např. ve starověkém Egyptě se používaly cihly vyrobené ze směsi jílu (tvořící matrici) a slámy (výztuže).

#### **3.1 Technologie Helibeam**

Technologie Helibeam firmy Helifix byla vyvinuta v Anglii v osmdesátých letech minulého století a skládá se ze dvou komponentů:

- z výztuže z nerezové austenické oceli XCrNi 1810 vyrobené tahem za studena, která se při výrobě současně stáčí, přičemž se dosáhne speciálního šroubovitého profilu, jež zajišťuje lepší soudržnost s lepicím tmelem. S ohledem na přibližně dvakrát větší pevnost v tahu než má běžná betonářská výztuž umožňuje používat subtilní profily výztuže při zachování minimální srovnatelné pevnosti v tahu (Helifix, 2006).
- z polymercementového tixotropního lepicího tmelu s vysokou pevností a přilnavostí.

Technologie je využívána zejména pro dodatečné vyztužování porušených stavebních konstrukcí a to zejména staveb zděných, betonových atd. Technologie zvyšuje tahovou únosnost stavebních konstrukcí a zlepšuje prostorovou tuhost. Výhodou systému je, že se do konstrukce nevnášejí nové síly a napětí. Dále je velmi tvarově variabilní (lze ohýbat výztuž v rukách a krátit pákovými nůžkami) a při vlastní realizaci minimálně zasahuje do sanované konstrukce. Díky materiálu výztuže lze ji osadit v těsné blízkosti vnějšího líce konstrukce s minimálním krytím dané výztuže.

#### **3.2 Kompozitní materiál ECC**

V posledních letech se setkáváme s celou řadou nových typů betonů, nebo spíše by se už mělo použít pojmenování kompozity, které jsou poměrně vzdálené klasickému betonu.

Kompozitní materiál ECC (Engineered Cementitious Composites) představuje velmi tvárný jemnozrnný beton (maltu) s matricí na bázi portlandského cementu vyztuženou krátkými vlákny. ECC kompozit představuje novou generací vysokohodnotných betonu (HPC) a také bývá označován jako ohebný beton. Tento kompozitní materiál neobsahuje jako plnivo hrubé kamenivo, nýbrž obsahuje jen drobné kamenivo v řádu velikosti v  $\mu\text{m}$  nebo maximálně v mm. S ohledem na tuto skutečnost by se spíše mělo jednat o cementovou maltu nebo pastu než beton. Ale v odborné literatuře se už zavedlo pojmenování beton, se kterým se většinou setkáváme.

Na obr. 3.1 je zobrazen pracovní diagram betonu s normální pevností (NSC), vlákny vyztuženého betonu (FRC) a vysokohodnotného jemnozrnného kompozitního materiálu ECC.

Mechanické chování cementových kompozitů (betony, malty, pasty) vyjádřené pracovním diagramem lze rozdělit na fázi před vznikem trhliny a na fázi po vzniku trhliny, kdy dochází k výraznému rozvoji deformačního přetvoření v důsledku působícího zatížení (Kolísko, 2008).

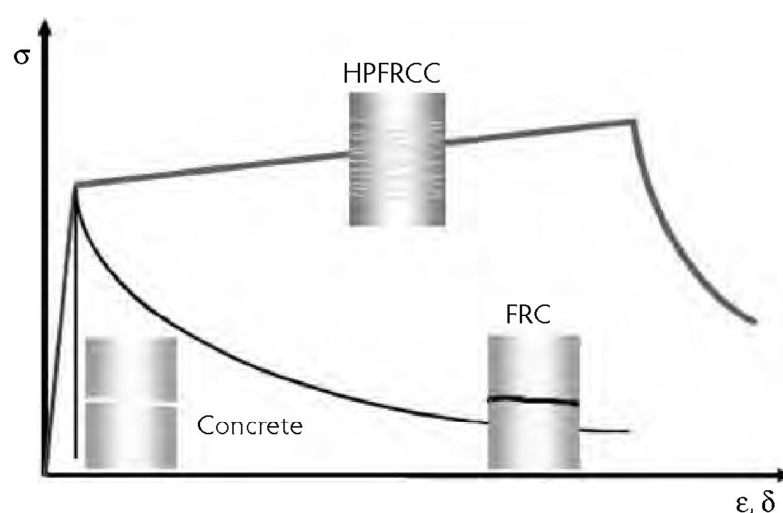
Dle chování cementového kompozitu (materiálu) po vzniku trhliny (tzn. po překročení pevnosti při vzniku první trhliny) lze průběh křivky pracovního diagramu rozdělit na s chováním (Kolísko, 2008):

1. strain-softening – po překročení pevnosti při vzniku první trhliny dochází k tzv. „deformačnímu změkčení“ materiálu a poklesu odolnosti materiálu přenášet zatížení. Do této skupiny lze zařadit beton s normální pevností (NSC), včetně většiny vlákny vyztužených betonů (FRC),
2. strain-hardenig - po překročení pevnosti při vzniku první trhliny dochází k tzv. „deformačnímu zpevnění“ materiálu a k dalšímu nárůstu pevnosti (odolnosti) daného materiálu. Do této skupiny patří zejména kovové materiály, ale i kompozitní materiál ECC.

Jak je zřejmé z pracovního diagramu u kompozitního materiálu ECC, po dosažení pevnosti při vzniku první trhliny dochází k „zpevnění“ materiálu (viz obr. 3.1), tzn. k zvýšení napětí při současném růstu poměrného přetvoření až po dosažení meze pevnosti daného materiálu. Jak je zřejmé z tohoto pracovního diagramu, kompozitní materiál ECC se v první fázi fyzicky a mechanicky chová jako beton s normální pevností (NSC), ve druhé fázi se už spíše chová jako kov, kdy po dosažení meze „kluzu“ na konci pružné (první) fáze pracovního diagramu se objevují první trhliny. První trhlina vzniká přibližně při hodnotě deformačního přetvoření  $\varepsilon \approx 0,01 \%$  a při deformačním přetvoření  $\varepsilon \approx 1 \%$  se šířka trhliny zvětšuje přibližně na  $60 \mu\text{m}$ . Při dalším zatížení se zvětšuje počet mikrotrhlin, ale šířka jednotlivých mikrotrhlin se nezvětšuje a

zůstává ustálená na hodnotě 60  $\mu\text{m}$  (Li, 2008). K selhání dochází až tehdy, kdy se jedna z mnohonásobných trhlin poruší lomem (vytvoří se lomová rovina).

U kompozitního materiálu ECC se vytváří synergická interakce mezi vlákny, matrici daného kompozitu a rozhraním těchto materiálů. Dochází zde k rozvoji úzce rozložených mnohonásobných mikrotrhlin v důsledku mikromechanických vazeb. Účinná vazba mezi cementovou matricí a vlákny je zde dosažena prostřednictvím maximálního zhutnění, což má za důsledek vysokou pevnost po vzniku první trhliny až do okamžiku vyčerpání pevnosti vláken.



Obr. 3.1 Porovnání idealizovaných pracovních diagramů betonu s normální pevností (NSC), kompozitu FRC (Fiber Reinforced Concrete) a vysokohodnotného betonu HPFRCC (High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites) - typu ECC (Li, 2008)

ECC je cementový kompozit vyztužený skleněnými nebo polymerovými vlákny. Jako plnivo se využívají zejména mikrosilika (křemičitý úlet), jemně mletý křemičitý písek, mletý krystalický grafit či elektrárenský popílek apod. Dále se používají místní materiálové složky a z nich pak vznikají různé varianty kompozitního materiálu ECC dle místa jeho původu. Z polymerových vláken se používají vlákna polypropylénové (PP), polyetylénové (PE) nebo dnes už častěji vlákna polyvinylalkoholové (PVA). V posledních letech se také používají hybridní vlákna, tzn. kombinace různých typů nebo délek vláken. Vlákna jsou obvykle velikosti řádu mm dlouhá a průměru řádu  $\mu\text{m}$ . Z ekonomického hlediska se obsah vláken  $V_f$  pohybuje max. do 2 %.

### 3.3 Kompozitní materiál FRP

Kompozitní materiál FRP (Fiber Reinforced Polymers), což v překladu znamená vlákna vyztužované polymery, se nejčastěji skládá ze 2 základních složek a to:

- z vysokopevnostního vlákna,
- polymerního pojiva.

Dále se do kompozitního materiálů FRP mohou přidávat různá plniva (pro zvýšení pevnosti, tvarové stálosti, zpracovatelnosti), aditiva (pro zlepšení smáčení vláken a plniv pryskyřice, UV absorbéry) a pigmenty (probarvení pryskyřic) (Vejražková, 2008).

Kompozitní materiál FRP má dobré fyzikální a mechanické vlastnosti, především vysokou pevnost v tahu. Je odolný proti agresivním účinkům okolního prostředí. Dále je trvanlivý, což znamená, že významně nepodléhá reologickým vlivům v čase a to v důsledku znamená dlouhodobou životnost a minimální údržbu. Oproti běžné betonářské výztuži je jeho další výhodou antikorozní vlastnost - není nutná krycí vrstva (Kompozitní výztuže Prefa Rebar, 2009). Další výhodou kompozitního materiálu FRP je nízká hmotnost. Hmotnost kompozitního materiálu FRP je přibližně o 80 % nižší než u oceli a o 30 % než u hliníku. Z ohledem na nízkou hmotnost se zanedbatelně zvyšuje hmotnost sanované konstrukce či prvku a vlastní manipulace s kompozitním materiálem FRP je snadná a samotná realizace není namáhavá (Šilhan, 2009). Vlastní zesilování konstrukcí se provádí buď:

- a. vlepováním tyčových profilů do drážek,
- b. pomocí lamel,
- c. bandážováním výztužnými tkaninami, rohožemi.

## **4 Statické posouzení metod zesílení zděného sloupu**

### **4.1 Způsoby modelování zdiva**

Zdivo je složitý heterogenní materiál, který se skládá ze zdicích prvků a malty. S ohledem na rozdílnost mechanicko-fyzikálních vlastností obou základních materiálů (zdicí prvek, malta) se obtížně získává vhodný výpočtový (numerický) model dané konstrukce či prvku. Při modelování se nejčastěji používají tři základní typy modelů a to (Mynarzová, 2009):

- A. Detailní mikromodel viz obr. 4.1.
- B. Zjednodušený mikromodel viz obr. 4.2.
- C. Makromodel viz obr. 4.3.

### **4.2 Výpočtový model zděného sloupu**

Pro modelování zděného sloupu je používán detailní mikromodel vytvořený v nekomerční verzi softwaru ANSYS 12. Jako výpočtový model je zvolen zděný sloup o půdorysných rozměrech 290 x 290 mm, 440 x 290 mm, 440 x 440 mm a o výšce 3000 mm s mechanicko-fyzikálními vlastnostmi, které jsou uvedené v následujících tabulkách. Disertační práce se zejména zabývá zděným sloupem o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm. U jednotlivých modelů zděného sloupu je dodržena řádná vazba zdiva. Sloup je modelován z celých cihel, resp. z tříčtvrtek.

Zděný sloup je zjednodušeně vymodelován jako konzolový prut bez uvážení vzpěru prvku a to z důvodu, že prvek SOLID 65 nelze použít pro geometricky nelineární úlohy. Sloup je v patě vetknutý a v hlavě zatížen normálovou silou. Osová síla působí na hlavu sloupu prostřednictvím rovnoměrného plošného zatížení. Zatížení je do samotného zděného sloupu vnášeno pomocí tužšího spojovacího prvku o výšce 100 mm, který má stejné mechanicko-fyzikální vlastnosti jako cihla. Vytvořením spojovacího prvku se snažíme docílit pokud možno co nejreálnějšího přenosu zatížení do zděného sloupu.

Pomocí modelování zděného sloupu jsou posuzovány metody zesílení pomocí ocelové bandáže, technologie Helibeam, ECC kompozitu, kompozitního materiálu FRP ve formě uhlíkové tyčové výztuže, uhlíkové lamely a uhlíkové tkaniny.

Pro jednotlivé metody zesílení zděného sloupu je vytvořen univerzální výpočtový model, který je následně upraven dle konkrétních metod zesílení.

## 4.2.1 Vstupní údaje

Malta a cihly jsou modelovány jako 8 uzlový prvek SOLID 65 s isotropními vlastnostmi. Malta je na rozdíl od cihel vymodelována jako fyzikálně nelineární materiál. Při zadání fyzikálně nelineárního chování malty se vychází z Willam-Warnkeho podmínky plasticity viz (Willam, 1975). Do vstupních údajů nelineárního chování malty se dle (Willam, 1975) a (Ansys, 2010) zadává:

- Open Shear Transfer Coef: v rozmezí 0 – 0,5 (zadaná hodnota 0,4),  
 Closed Shear Transfer Coef: v rozmezí 0.5 – 0.9 (zadaná hodnota 0,7),  
 Uniaxial Cracking Stress:  $f_t$  (pevnost v tahu),  
 Uniaxial Crushing Stress:  $f_c$  (pevnost v tlaku),  
 Biaxial Crushing Stress:  $f_{bc} = 1,2 * f_c$ , (4.1)  
 Hydrostatic Pressure:  $\sigma_h = \sqrt{3} * f_c$ , (4.2)  
 Hydro Biax Crush Stress:  $f_1 = 1,45 * f_c$ , (4.3)  
 Hydro Uniax Crush Stress:  $f_2 = 1,725 * f_c$ , (4.4)  
 Tensile Crack Factor: 0,6.

Mechanicko-fyzikální vlastností cihel a malty jsou převzaty z experimentálních zkoušek cihel a malty (Vorel, 2007) a hodnoty jsou uvedeny v tab. 4.1.

Tab. 4.1 Mechanicko-fyzikální vlastnosti cihly a malty (Vorel, 2007)

Mechanicko-fyzikální vlastnosti	Cihly	Malta	Cementová malta
Objemová hmotnost ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	1800	2000	2100
Modul pružnosti v tahu a tlaku (GPa)	8,26	4,33	4,33
Součinitel příčné roztažnosti (Poissonův součinitel)	0,15	0,2	0,2
Pevnost v tlaku (MPa)	12,74	2,53	10
Pevnost v tahu (MPa)	1,83	0,58	2,4

Ocelové prvky (nárožníky ve formě L profilů a příčná pásová ocel) metody zesílení pomocí ocelové bandáže jsou v softwaru ANSYS 12 zadány jako skořepinové 4 uzlové prvky typu SHELL 63.

Austenitická nerezová výztuž Helibar  $\varnothing 6$  technologie Helibeam se osazuje do vyškrábané drážky ložné maltové spáry zděného sloupu o rozměrech 40 x 10 mm. Samotná nerezová výztuž Helibar je modelována jako 3D elastický prvek BEAM 4.

Obetonávka zděného sloupu metody zesílení pomocí ECC kompozitu je navržena v tloušťce 60 mm, resp. 80 mm. ECC kompozit je pak vymodelován jako 8 uzlový prvek SOLID 65 s izotropními vlastnostmi materiálu.

Uhlíková tyčová výztuž je modelována jako 3D elastický prvek BEAM 4, uhlíková lamela a tkanina jako skořepinový 4 uzlový prvek SHELL 63.

Při použití metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tyčové výztuže a metody zesílení pomocí technologie Helibeam se tyčové prvky osazují do drážky o rozměrech 40 x 10 mm vyplněné lepicí hmotou. U uhlíkové tyčové výztuže se používá lepicí hmota na bázi epoxidové pryskyřici a u nerezové výztuže polymercementová malta. Lepicí hmoty jsou modelovány totožně jako 8 uzlový prvek SOLID 65.

#### **4.2.2 Posouzení únosnosti zděného sloupu**

Pro určení hodnoty zatížení, která působí na zděný sloup, je vypočtena únosnost zděného prvku (sloupu) v tlaku dle v současné době platné normy ČSN EN 1996 (Eurokódu 6). V tab. 4.2 jsou uvedeny výsledky únosnosti zděného sloupu v tlaku a navržená zatížení dle jednotlivých půdorysných rozměrů pro sloup o výšce 3000 mm.

Tab. 4.2 Výsledky únosnosti zděného sloupu v tlaku dle jednotlivých půdorysných rozměrů pro sloup o výšce 3000 mm

Půdorysné rozměry sloupu	Vypočtené zatížení (kN)	Navržené zatížení (kN)
290 x 290 mm	59,87	65
440 x 290 mm	90,84	90
440 x 440 mm	170,75	170

Zatížení je vnášeno do zděného sloupu prostřednictvím spojovacího prvku o výšce 100 mm, jak již bylo jednou uvedeno. Z důvodu neuvažování vzpěru by se měly brát výsledky spíše jako orientační.

#### **4.3 Statické posouzení zděného sloupu**

Pro posouzení jednotlivých metod zesílení zděného sloupu je vybrána střední část sloupu od výškové úrovně +1,3925 do +1,8425 m, což odpovídá výškové úrovni od poloviny zdicích prvků (cihel) 18 řady do poloviny zdicích prvků 25 řady.

U zděného sloupu je posuzováno napětí ve směru osy x a z i deformace ve směru osy x. Pro posouzení zděného sloupu jsou jednotlivé zesilující prvky odelektovány a napětí se posuzují zvlášť pro zdicí prvky (cihly) a maltu. U posouzení deformace ve směru osy x jsou cihly a malta brány jako jeden společný prvek z důvodu



minimálního rozdílu výsledných deformací v obou prvcích odpovídajících řádu  $10^{-6}$  m, přičemž deformace v maltě je nepatrně větší než deformace v cihlách.

V následujících tabulkách jsou použité zkratky, kde:

$\sigma_{x,max,c}$	je maximální napětí v cihlách ve směru osy x,
$\sigma_{x,max,m}$	maximální napětí v maltě ve směru osy x,
$\sigma_{z,max,c}$	maximální napětí v cihlách ve směru osy z,
$\sigma_{z,max,m}$	maximální napětí v maltě ve směru osy z,
$u_{x,sloup}$	maximální deformace zděného sloupu ve směru osy x.

### 4.3.1 Zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm

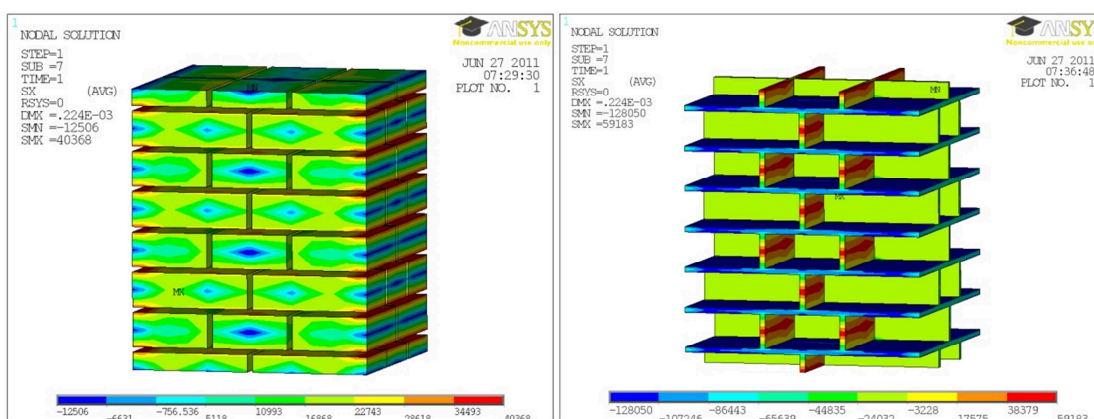
V této podkapitole je posuzován zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3000 mm. Pro porovnání vznikajících napětí a deformace zděného sloupu zesíleného uvedenými metodami je uskutečněno i vyhodnocení pro samotný nezesílený zděný sloup. U uhlíkové lamely a tyčových výztuží jsou ještě porovnávány variantní řešení svislých osových vzdáleností ztužujících prvků, u ECC kompozitu pak dvě tloušťky obetonávky.

#### 4.3.1.1 Nezesílený zděný sloup

U nezesíleného zděného sloupu jsou největší tlaková napětí v cihlách ve směru osy x umístěna u povrchu zděného sloupu a to v polovině výšky cihel. Maximální tahová napětí se pak nacházejí v oblasti ložné maltové spáry u povrchu zděného sloupu. Ve směru osy z jsou největší lokální tlaková napětí v místě vnitřních styčných spár.

a)

b)



Obr. 4.1 Nezesílený zděný sloup:

a) napětí v cihlách ve směru osy x, b) napětí v maltě ve směru osy x

V maltě jsou největší tlaková napětí ve směru osy x umístěna v ložných spárách, totéž platí i pro napětí ve směru osy z. V polovině výšky styčných maltových spár se nacházejí maximální tahová napětí ve směru osy x.

Na obr. 4.1 jsou znázorněna napětí nezesíleného zděného sloupu ve směru osy x, vlevo na obrázku je zobrazeno napětí v samotných cihlách a vpravo napětí v maltových spárách. Maximální tlaková a tahová napětí pro nezesílený sloup ve směru osy x a z jsou uvedeny v tab. 4.3. V posledním sloupci tabulky je uvedena hodnota maximální deformace zděného sloupu ve směru osy x.

Tab. 4.3 Výsledná maximální napětí a deformace pro nezesílený zděný sloup

$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
-12,506	-128,050	-1060	-931,357	$0,439 \cdot 10^{-5}$
40,368	59,183			

#### 4.3.1.2 Metoda zesílení pomocí ocelové bandáže

U metody zesílení pomocí ocelové bandáže dochází téměř 4násobnému nárůstu lokálního tlakového napětí cihel ve směru osy x v místě přivaření příčné pásové oceli na úhelník. Taktéž u tahového napětí v cihlách se vyskytují lokální napětí na hranách sloupu a to v oblasti podkladní cementové malty, do které se osazují ocelové úhelníky. Tlakové napětí v cihlách ve směru osy z se snížilo přibližně o polovinu hodnoty oproti nezesílenému sloupu.

U samotné malty sloupu dochází ke snížení tlakového i tahového napětí ve směru osy x a z. Maximální hodnoty napětí v maltě se nacházejí u povrchu sloupu. V místě podkladní cementové malty úhelníků v úrovni příčné pásové oceli se vyskytují lokální tahová napětí ve směru osy x o hodnotě přibližně 2 krát vyšší než je maximální hodnota napětí v samotné maltě sloupu.

Maximální deformace zděného sloupu ve směru osy x se snížila cca o 40 % oproti nezesílenému sloupu. Výsledné maximální napětí v cihlách a v maltě ve směru osy x a z a deformace sloupu ve směru osy x jsou patrné z tab. 4.4.

Tab. 4.4 Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí ocelové bandáže

$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
-47,463	-97,269	-586,188	-539,092	$0,268 \cdot 10^{-5}$
73,176	42,017			

#### 4.3.1.3 Metoda zesílení pomocí technologie Helibeam

U této metody s osovou vzdáleností tyčové výztuže 225 mm se lokálně zvýšila tlaková napětí v cihlách ve směru osy x a to v oblasti umístěné tyčové výztuže ve směru osy y. Toto lokální napětí dosahuje hodnoty cca 6 krát vyšší než je tlakové napětí v cihlách u nezesíleného zděného sloupu. Tahové napětí v cihlách ve směru osy x se zvýšilo cca o 65 %. Maximální tlakové napětí v cihlách ve směru osy z vychází přibližně totožné s nezesíleným sloupem.

Napětí v maltě, ať už se jedná o tlakové či tahové ve směru osy x a z, přibližně odpovídá průběhu napětí nezesíleného sloupu. Maximální celková deformace samotného zděného sloupu vychází jen nepatrně menší než u nezesíleného zděného sloupu. Pro porovnání jednotlivých hodnot napětí a deformace jsou uvedeny v tab. 4.5 výsledné hodnoty metody zesílení pomocí technologie Helibeam a to pro osovou vzdálenost tyčové výztuže 225 mm.

Tab. 4.5 Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí technologie Helibeam -  $\bar{a}$  225 mm

$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
-74,407	-135,666	-1040	-994,062	$0,426 \cdot 10^{-5}$
67,366	62,547			

Nejllepší výsledky ze třech variantních osových vzdáleností tyčové výztuže vychází u technologie Helibeam s osovou vzdáleností (roztečí) 300 mm. Lokální tlaková napětí v cihlách ve směru osy x jsou cca 5,7 krát vyšší než u nezesíleného sloupu. Oblast výskytu lokálních napětí v tlaku a v tahu je téměř totožná jako u technologie s osovou vzdáleností 225 a 375 mm.

V maltě sloupu nedochází k nárůstu tlakového či tahového napětí, ať už ve směru osy x či z. Deformace zděného sloupu se od předchozí variantní vzdálenosti tyčové výztuže liší jen v řádu jednotek  $10^{-7}$ . Výsledné hodnoty maximálních napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí technologie Helibeam s osovou vzdáleností tyčové výztuže  $\bar{a}$  300 mm se nacházejí v tab. 4.6.

Tab. 4.6 Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí technologie Helibeam -  $\bar{a}$  300 mm

$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
-71,162	-132,479	-1040	-1050	$0,429 \cdot 10^{-5}$
59,369	61,246			

Tlaková a tahová napětí v cihlách metody zesílení pomocí technologie Helibeam s osovou vzdáleností tyčové výztuže 375 mm odpovídají přibližně hodnotám pro variantní vzdálenost tyčové výztuže 225 mm. Průběh napětí v cihlách ve směru osy z se téměř shoduje s nezesíleným zděným sloupem.

Průběh napětí v maltě je taktéž totožné až na tahové napětí ve směru osy x, kde dochází k lokálnímu nárůstu napětí v místě styčné spáry nad a pod situovanou tyčovou výztuží. Tento nárůst má cca o 80 % vyšší hodnotu tahového napětí v maltě než u předešlých variant technologie Helibeam. Deformace zděného sloupu ve směru osy x vychází jen nepatrně menší než u nezesíleného sloupu.

V tab. 4.7 jsou uvedeny maximální napětí a deformace v cihlách a v maltě pro metodu zesílení pomocí technologie Helibeam s osovou vzdáleností výztuže 375 mm.

Tab. 4.7 Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí technologie Helibeam -  $\bar{a}$  375 mm

$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
-73,630	-133,203	-1060	-983,636	$0,431 \cdot 10^{-5}$
71,262	109,259			

#### 4.3.1.4 Metoda zesílení pomocí ECC kompozitu

U metody zesílení pomocí ECC kompozitu o tloušťce 60 mm nedochází v cihlách k tlakovému namáhání ve směru osy x. Největší tahová napětí ve směru osy x se nacházejí u povrchu sloupu a její hodnoty přibližně odpovídají maximálnímu tahovému napětí v cihlách nezesíleného sloupu. Ve směru osy z je zřejmý rapidní pokles tlakového napětí v cihlách, které nám přebírá obetonávka sloupu. Maximální hodnoty tlakového napětí v cihlách se nacházejí v místě křížení styčných spár, resp. v místě styku styčné spáry a obetonávky ECC kompozitem.

U tlakového napětí v maltě ve směru osy x taktéž dochází k poklesu napětí a to cca o 65 %. V případě tahového napětí v maltě ve směru osy x vychází pokles napětí nižší jen o 10 % oproti nezesílenému sloupu. Největší lokální napětí se nalézají v polovině výšky styčné spáry umístěné ve směru osy y a to přibližně ve vzdálenosti 1/3 tříčtvrteční cihly od okraje sloupu. Největší lokální tlaková napětí v maltě ve směru osy z se nacházejí taktéž v ložné spáře ve vzdálenosti 1/3 tříčtvrteční cihly od okraje sloupu. Deformace sloupu ve směru osy x se snížila přibližně o 45 %.

Odečtené maximální hodnoty napětí a deformace jsou vypsány v tab. 4.8.

Tab. 4.8 Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí ECC kompozitu – tloušťka vrstvy 60 mm

$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
-	-42,937	-403,568	-421,807	$0,243 \cdot 10^{-5}$
39,702	53,639			

Jako u předešlé varianty ECC kompozitu, taktéž u tloušťky obetonávky 80 mm se v cihlách ve směru osy x nenacházejí žádná tlaková napětí. Průběh napětí v cihlách ve směru osy x a z je obdobný jako u ECC kompozitu o tloušťce 60 mm a výsledné maximální hodnoty napětí v cihlách mají cca o 10 % nižší hodnoty než u předešlé varianty.

Průběh napětí v maltě je taktéž obdobné jako u obetonávky o tloušťce 60 mm a výsledná maximální napětí, ať už ve směru osy x či z, jsou o pár procent nižší. V tab. 4.9 jsou uvedeny maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí ECC kompozitu o tloušťce 80 mm.

Tab. 4.9 Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí ECC kompozitu – tloušťka vrstvy 80 mm

$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
-	-34,912	-335,307	-330,536	$0,204 \cdot 10^{-5}$
35,414	46,470			

#### 4.3.1.5 Metoda zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tyčové výztuže

Při použití uhlíkové tyčové výztuže s osovou vzdáleností 225 mm vznikají největší lokální tlaková napětí v cihlách ve směru osy x u povrchu sloupu a to v polovině výšky cihel, resp. uprostřed sloupu. Maximální hodnota tlakového napětí v cihlách překračuje napětí nezesíleného sloupu cca o 30 %. Největší tahová napětí v cihlách ve směru osy x se nacházejí v místě ložných spár, které jsou situovány u okraje sloupu ve směru osy y. Tlakové napětí ve směru osy z má obdobný průběh jako u nezesíleného sloupu a maximální hodnoty napětí jsou téměř totožné.

Průběh tlakového a tahového napětí v maltě ve směru osy x a z jsou přibližně totožné jako u nezesíleného zděného sloupu. Výsledné hodnoty napětí se liší jen v řádu jednotek procent. Deformace sloupu ve směru osy x vychází jen cca o 1 % menší

než u samotného nezesíleného sloupu. Průběh napětí v cihlách a v maltě ve směru osy x jsou uvedeny v tab. 4.10.

Tab. 4.10 Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tyčové výztuže  $\bar{a}$  225 mm

$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
-16,341	-130,271	-1060	-933,007	$0,436 \cdot 10^{-5}$
45,817	56,956			

Při aplikaci uhlíkové tyčové výztuže po osově vzdálenosti 300 mm nedochází ke změnám průběhu napětí. Totéž platí i pro deformaci sloupu. Výsledné hodnoty napětí, ať se jedná o tahové či tlakové napětí, se liší jen velmi nepatrně viz tab. 4.11.

Tab. 4.11 Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tyčové výztuže  $\bar{a}$  300 mm

$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
-14,687	-129,038	-1040	-931,632	$0,437 \cdot 10^{-5}$
46,321	56,267			

Při použití metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP s uhlíkovou tyčovou výztuží o osově vzdálenosti 375 mm dochází k mírnému nárůstu hodnot maximálního napětí v cihlách vzhledem k předchozím variantám osových vzdáleností tyčové výztuže. Charakter průběhu a výskytu lokálních napětí však stále zůstává totožný.

Výsledné hodnoty maximálního napětí v maltě stále přibližně odpovídají maximálním hodnotám napětí nezesíleného zděného sloupu a to ve směru osy x i z. U deformace sloupu ve směru osy x došlo jen k nepatrným změnám. Výsledné hodnoty maximálních napětí a deformace se nacházejí v tab. 4.12.

Tab. 4.12 Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tyčové výztuže  $\bar{a}$  375 mm

$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
-15,916	-130,349	-1060	-932,915	$0,438 \cdot 10^{-5}$
45,892	57,868			

#### 4.3.1.6 Metoda zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové lamely

Při aplikaci uhlíkové lamely po osově vzdálenosti 300 mm dochází u povrchu sloupu v místě ložné spáry nad a pod aplikovanou lamelou ke vzniku lokálního tlakového napětí v cihlách ve směru osy x o hodnotách cca 7 krát vyšších než u nezesíleného sloupu. Největší tahová napětí v cihlách ve směru osy x o hodnotách cca 4,5krát vyšších se nacházejí v oblasti ložných spár a to v místě aplikované lamely. Nejvyšší tlaková napětí ve směru osy z se vyskytují taktéž u ložných spár nad a pod aplikovanou lamelou. Maximální tlakové napětí ve směru osy z dosahuje hodnoty o 45 % vyšší než u nezesíleného sloupu.

Největší hodnoty tlakového napětí v maltě ve směru osy x se nalézají v ložných spárách. V ložné spáře v místě aplikované lamely vycházejí hodnoty napětí o něco nižší než u ložných spár, kde lamela není aplikována. Největší lokální tahová napětí ve směru osy x se vyskytují v polovině výšky styčných spár nad a pod aplikovanou lamelou. V maltě ve směru osy z dochází k tahovému namáhání a to v místě styčných spár o hodnotě dosahující cca až 337 kN. Deformace sloupu ve směru osy x dosahuje v místě aplikované lamely cca o 25 % vyšších hodnot než u nezesíleného sloupu. Výsledné maximální hodnoty napětí a deformace jsou uvedeny v tab. 4.13.

Tab. 4.13 Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové lamely  $\bar{a}$  300 mm

$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
-91,765	-194,423	-1540	-1220	$0,550 \cdot 10^{-5}$
189,569	195,360			

Při aplikaci uhlíkové lamely o osově vzdálenosti 450 mm dochází v cihlách jen k mírnému poklesu lokálního napětí, ať už tlakového či tahového, vzhledem k osově vzdálenosti lamely 300 mm. Tento pokles se pohybuje jen v řádu jednotek.

U tlakového napětí v maltě ve směru osy x je průběh napětí obdobný jako u osově vzdálenosti lamely 300 mm a taktéž zde mírně pokleslo napětí. U tahového napětí v maltě ve směru osy z se lokální maximální napětí nachází v místě styku ložné a styčné spáry nad a pod aplikovanou lamelou. Toto napětí dosahuje hodnoty o 40 kN nižší než u předešlé varianty lamely. Deformace u samotného sloupu ve směru osy x v místě aplikované lamely je rovněž větší než u nezesíleného sloupu viz tab. 4.14.

Tab. 4.14 Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové lamely  $\bar{a}$  450 mm

$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
-87,545	-190,170	-1510	-1130	$0,563 \cdot 10^{-5}$
182,998	155,477			

#### 4.3.1.7 Metoda zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tkaniny

Největší tlaková napětí v cihlách ve směru osy x se nacházejí v polovině výšky cihel u povrchu sloupu ve směru osy y. V cihlách se vyskytují největší lokální tahová napětí ve směru osy x na hranách sloupu a dosahují cca až 2,5 krát vyšších hodnot než u nezesíleného sloupu. U tlakového napětí v cihlách ve směru osy z se projevuje pokles napětí přibližně o 25 % vzhledem k nezesílenému zděnému sloupu.

U malty dochází k poklesu tlakového napětí ve směru osy x. Tahové napětí ve směru osy x má obdobný průběh napětí jako u nezesíleného sloupu a hodnoty napětí jsou téměř totožné. Taktéž jako u tlakového napětí v cihlách ve směru osy z se tlakové napětí v maltě ve směru osy z redukovalo. Samotná deformace sloupu ve směru osy x se snížila cca o 8 %. V tab. 4.15 jsou uvedené výsledná maximální napětí a deformace sloupu ve směru osy x.

Tab. 4.15 Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tkaniny

$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
-24,201	-88,897	-787,230	-774,770	$0,406 \cdot 10^{-5}$
100,595	58,936			

#### 4.3.1.8 Vyhodnocení metod zesílení zděného sloupu

Pro porovnání jednotlivých metod a variantních řešení zděného sloupu o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3000 mm je vybráno tahové napětí v maltě ve směru osy x, neboť první tahové trhliny ve zděném sloupu vznikají ve styčných maltových spárách.

Z jednotlivých metod zesílení vychází nejlépe metoda zesílení pomocí ocelové bandáže, následně pak ECC kompozitu o tloušťce obetonávky 80 mm, resp. o tloušťce vrstvy 60 mm. Z hlediska tahových napětí v maltě ve směru osy x ještě dobře vychází metoda zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tyčové výztuže.



Hodnoty maximálního tahového napětí v maltě ve směru osy x metody zesílení pomocí technologie Helibeam či kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tkaniny vycházejí přibližně stejně jako u nezesíleného zděného sloupu. Z tohoto důvodu nejsou dané metody vhodné pro zesílení zděného sloupu, které jsou namáhány normálovou silou. Totéž platí i pro metodu zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové lamely, která výrazně zvyšuje tahové napětí v maltě ve směru osy x.

Dalším možným kritériem pro porovnání jednotlivých metod zesílení, resp. jejich variantních řešení, je deformace zděného sloupu ve směru osy x, tzn. maximální hodnota vodorovného poměrného roztažení ve směru osy x.

Jak je patrné z výsledných hodnot, nejmenší deformaci dosahuje metoda zesílení pomocí ECC kompozitu o tloušťce obetonávky 80 mm, následně pak tloušťka obetonávky 60 mm. Pokles deformace se projevuje také u metody zesílení pomocí ocelové bandáže a kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tkaniny. Z použitých tyčových výztuží vychází lépe technologie Helibeam než kompozitní materiál FRP. U obou technologií je ale pokles výsledné deformace nepatrný. U metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové lamely dochází ke zvýšení deformace nad úroveň deformace samotného nezesíleného sloupu a to z důvodu zvýšeného lokálního napětí v místě aplikované lamely.

Při posouzení jednotlivých metod zesílení je také třeba brát v úvahu vznik vnášených lokálních napětí, která jsou způsobena zesílením zděného sloupu a mohou dosahovat vysokých hodnot. Tyto výrazná lokální napětí se vyskytují zejména v cihlách u metod zesílení pomocí ocelové bandáže, technologie Helibeam, kompozitního materiálu FRP – uhlíkové lamely. Při použití kompozitního materiálu FRP - uhlíkové tkaniny se vyskytují lokální napětí na hranách sloupu.

#### **4.3.2 Zděný sloup o půdorysných rozměrech 290 x 290 mm**

V této podkapitole jsou posuzovány pouze výchozí metody zesílení zděného sloupu s neuvažováním různých variantních řešení. Metody zesílení jsou aplikovány na zděný sloup o půdorysných rozměrech 290 x 290 mm a o výšce 3000 mm. Výsledné hodnoty maximálních napětí a deformace pro nezesílený zděný sloup i pro jednotlivé metody zesílení jsou uvedeny v souhrnné tab. 4.16.

Tab. 4.16 Výsledná maximální napětí a deformace pro nezesílený zděný sloup  
a pro jednotlivé metody zesílení zděného sloupu

Metoda zesílení	$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
Nezesílený sloup	-8,896	-110,042	-837,274	-806,797	$0,256 \cdot 10^{-5}$
	32,203	34,673			
Ocelová bandáž	-7,610	-40,591	-288,503	-277,780	$0,106 \cdot 10^{-5}$
	42,188	17,177			
Technologie Helibeam	-60,370	-113,891	-875,517	-903,153	$0,249 \cdot 10^{-5}$
	43,988	50,693			
ECC kompozit	-	-34,379	-290,533	-285,733	$0,090 \cdot 10^{-5}$
	16,630	20,194			
FRP uhlíková tyčová výztuž	-12,142	-112,349	-837,811	-807,789	$0,255 \cdot 10^{-5}$
	40,000	33,507			
FRP uhlíková lamela	-77,413	-165,136	-1330	-984,679	$0,343 \cdot 10^{-5}$
	147,933	150,509			
FRP uhlíková tkanina	-17,444	-75,345	-634,304	-634,485	$0,227 \cdot 10^{-5}$
	79,660	62,137			

#### 4.3.2.1 Vyhodnocení metod zesílení zděného sloupu

Jednotlivé metody zesílení zděného sloupu o půdorysných rozměrech 290 x 290 mm a o výšce 3000 mm jsou posouzeny stejně jako u předešlé podkapitoly dle maximální hodnoty tahového napětí ve styčné maltové spáře ve směru osy x.

Nejvhodněji vychází tradiční metoda zesílení pomocí ocelové bandáže s osovou vzdáleností příčné pásové oceli 300 mm. Druhý největší pokles maximálního tahového napětí v maltě dosahuje metoda zesílení pomocí ECC kompozitu o tloušťce obetonávky 60 mm (cca o 42 %). U metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tyčové výztuže s osovou vzdáleností výztuže 300 mm je pokles tahového napětí v maltě nepatrný. U ostatních metod zesílení dochází k nárůstu tahového napětí ve styčné maltové spáře. Při použití metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tkaniny se 3 vrstvami se jedná o nárůst cca o 25 %, u metody zesílení pomocí technologie Helibeam pak cca o 46 % a u kompozitního materiálu FRP – uhlíkové lamely s osovou vzdáleností lamely 300 mm cca o 334 %.

Z porovnání vyplývá, že pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 290 x 290 mm a o výšce 3000 mm namáhaného normálovou silou jsou vhodné jenom metody zesílení pomocí ocelové bandáže a ECC kompozitu.

Dalším porovnáním jednotlivých metod zesílení zděného sloupu je podle deformace sloupu (vodorovného poměrného roztažení) ve směru osy x. Nejmenší deformaci dosahuje metoda zesílení pomocí ECC kompozitu o tloušťce 60 mm. Hodnota deformace sloupu vychází cca o 64 % nižší než u nezesíleného sloupu. Výrazný pokles deformace sloupu vykazuje ještě tradiční metoda zesílení pomocí ocelové bandáže (cca o 59 %). Při provedení metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tkaniny se 3 vrstvami dochází k poklesu deformace cca o 11 %. Při použití tyčových výztuží, ať už se jedná o technologii Helibeam či uhlíkové tyčové výztuže, již dochází jen nepatrnému poklesu hodnot deformace. U technologie Helibeam cca o 3 % a u uhlíkové tyčové výztuže jen cca o 0,5 %. U metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové lamely naopak dochází k nárůstu deformace cca o 34 % vzhledem k nezesílenému sloupu.

Jak u porovnání podle tahového napětí ve styčných maltových spárách, tak i při porovnání deformace ve směru osy x vycházejí nejlépe jen metody zesílení pomocí ocelové bandáže a ECC kompozitu.

### **4.3.3 Zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 290 mm**

Pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 290 mm a o výšce 3000 mm jsou vymodelovány jen základní metody zesílení zděného sloupu bez variantních řešení a samotný nezesílený zděný sloup. Vzdálenost příčných výztužných prvků je totožná jako u sloupu o půdorysných rozměrech 290 x 290 mm. Tloušťka vrstvy ECC kompozitu je 60 mm.

Průběhy napětí a deformace jako u sloupu o půdorysných rozměrech 290 x 290 mm jsou téměř totožné jako u sloupu o půdorysných rozměrech 440 x 290 mm. Menší odlišnosti se vyskytují u metody zesílení pomocí ocelové bandáže, kde dochází k výraznému nárůstu lokálního tlakového napětí v cihlách ve směru osy x v místě přivaření příčné pásové oceli o hodnotu cca 4,5 krát vyšší než u nezesíleného zděného sloupu. Taktéž při použití technologie Helibeam se nachází odlišnost a to snížená hodnota největšího tahového napětí v maltě. Výsledné hodnoty maximálních napětí a deformace pro nezesílený zděný sloup i pro jednotlivé metody zesílení jsou uvedeny v souhrnné tab. 4.17.

Tab. 4.17 Výsledná maximální napětí a deformace pro nezesílený zděný sloup  
a pro jednotlivé metody zesílení zděného sloupu

Metoda zesílení	$\sigma_{x,max,c}$ (kN)	$\sigma_{x,max,m}$ (kN)	$\sigma_{z,max,c}$ (kN)	$\sigma_{z,max,m}$ (kN)	$u_{x,sloup}$ (m)
Nezesílený sloup	-7,993	-102,218	-858,800	-752,799	$0,349 \cdot 10^{-5}$
	31,178	49,157			
Ocelová bandáž	-35,711	-59,871	-384,140	-353,156	$0,169 \cdot 10^{-5}$
	49,515	18,976			
Technologie Helibeam	-58,995	-106,369	-842,698	-786,724	$0,340 \cdot 10^{-5}$
	46,036	46,550			
ECC kompozit	-	-32,170	-281,648	-269,519	$0,131 \cdot 10^{-5}$
	16,064	21,455			
FRP uhlíková tyčová výztuž	-11,025	-104,028	-858,094	-753,388	$0,346 \cdot 10^{-5}$
	36,534	47,145			
FRP uhlíková lamela	-73,699	-153,236	-1210	-910,643	$0,423 \cdot 10^{-5}$
	137,372	111,288			
FRP uhlíková tkanina	-16,304	-68,633	-604,722	-583,927	$0,309 \cdot 10^{-5}$
	75,908	49,640			

#### 4.3.3.1 Vyhodnocení metod zesílení zděného sloupu

Metody zesílení zděného sloupu o půdorysných rozměrech 440 x 290 mm a o výšce 3000 mm jsou rovněž posouzeny dle maximální hodnoty tahového napětí ve styčné maltové spáře ve směru osy x.

Jak je patrné z výsledných hodnot, vychází stejně jako u předešlých porovnání nejvhodněji tradiční metoda zesílení pomocí ocelové bandáže s osovou vzdáleností příčné pásové oceli 300 mm. Pokles napětí zde dosahuje hodnoty cca 61 %. U metody zesílení pomocí ECC kompozitu dochází ke snížení maximálního tahového napětí cca o 56 %. U metod zesílení pomocí tyčových výztuží je pokles tahového napětí ve styčné maltové spáře nepatrný. Při použití technologie Helibeam vychází hodnota jen cca o 5 % nižší než u nezesíleného sloupu, u kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tyčové výztuže pak cca o 4 % nižší. U metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tkaniny se 3 vrstvami je hodnota maximálního tahového napětí v maltě přibližně totožná s nezesíleným sloupem. Největší nárůst napětí dosahuje kompozitní materiál FRP – uhlíkové lamely a to přibližně o 116 %.

Dalším kritériem pro porovnání jednotlivých metod zesílení s nezesíleným sloupem je deformace (vodorovné poměrné roztažení) samotného sloupu ve směru osy  $x$ . Nejmenší deformace dosahuje metoda zesílení pomocí ECC kompozitu o tloušťce 60 mm s hodnotou cca o 63 % nižší než u nezesíleného sloupu. Druhý největší pokles deformace vykazuje tradiční metoda zesílení pomocí ocelové bandáže a to cca o 52 %. Metoda zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tkaniny má deformaci menší cca o 11 %. Použitím technologie Helibeam se dosahuje jen nepatrného poklesu o hodnotě cca 3 %. Při aplikaci uhlíkové tyčové výztuže je deformace přibližně totožná s nezesíleným sloupem. Metoda zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíková lamela naopak zvyšuje deformaci sloupu cca o 21 %.

Z porovnání jednotlivých metod vyplývá, že pro zesílení zděného sloupu namáhaného normálovou silou danými metodami zesílení jsou taktéž nejvhodnější metody zesílení pomocí ocelové bandáže a ECC kompozitu. Méně vhodná je metoda zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tkaniny se 3 vrstvami. Ostatní metody zesílení už nejsou vhodné pro zesílení zděného sloupu (metoda zesílení pomocí technologie Helibeam, metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tyčové výztuže a uhlíkové lamely).

## **5 Technologické zhodnocení metod zesílení**

Výběr vhodné metody sanace zděných sloupů či pilířů nezávisí pouze jen na statické únosnosti dané metody, ale rovněž na technologické, časové a finanční náročnosti metody. V této kapitole jsou posouzeny jednotlivé metody zesílení nejen z hlediska časové náročnosti a pracnosti, ale taktéž z finančního pohledu.

### **5.1 Technologické postupy jednotlivých metod**

Pro určení časové náročnosti a pracnosti je v první řadě nutno stanovit podrobný technologický postup (sled stavebních procesů) pro provádění jednotlivých metod zesilování, ze kterého budou dostatečně zřejmé vykonávané stavební procesy a jejich návaznosti. Při vypracování technologických postupů se vycházelo zejména z doporučení výrobců materiálů, které jsou využívány pro jednotlivé metody, a přihlíželo se rovněž k doposud používaným technologickým postupům pro podobné způsoby realizace stavebních procesů. Technologické postupy jsou psané pro konkrétní zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3000 mm. V samotné disertační práci jsou uvedeny technologické postupy daných metod zesílení zděného sloupu včetně výkazu výměr.

### **5.2 Finanční zhodnocení jednotlivých metod**

Finanční zhodnocení jednotlivých metod zesílení je zpracováno pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3000 mm. Pro finanční zhodnocení jednotlivých metod zesílení zděného sloupu jsou použity směrné (orientační) ceny stavebních prací. Výpočet finančního hodnocení je zpracováno v softwaru BUILDPOWER verze 13 od brněnské firmy Rts, a.s. Dále jsou použity ceny stavebních materiálů od výrobců jednotlivých materiálů. Hodnota (množství) spotřeby času je převzata z výkonové normy, která je dostupná v datové základně použitého softwaru.

Jednotlivé položky jsou čerpány ze sborníku cen stavebních prací, popřípadě jako kopie rozboru z jiných položek, kdy se použije podobná položka databáze, která již samotný rozbor obsahuje a ten se přizpůsobí potřebám individuálně kalkulované konstrukce či práce. Dalším používaným způsobem určení ceny stavební práce je vlastní individuální kalkulace nákladů (ÚRS Praha a.s., 2009):

$$JC = H + M + S + OPN + Rv + Rs + Z \quad (5.1)$$

kde:

- |    |   |
|----|---|
| JC | jednotková cena na měrnou jednotku Kč/měrná jednotka, |
| H  | náklady na přímý materiál v Kč,                       |
| M  | náklady na přímé mzdy v Kč,                           |
| S  | náklady na provoz stavebních strojů a zařízení v Kč,  |

OPN	ostatní přímé náklady v Kč,
Rv	režie výrobní v Kč,
Rs	režie správní v Kč,
Z	zisk v Kč..

Cena specifikace, tj. vlastního nosného materiálu je určena pořizovací cenou PPC, která zahrnuje cenu pořízení CP a pořizovací náklady PRN. V následujících podkapitolách je uveden výpočet finančního zhodnocení jednotlivých metod zesílení.

### 5.2.1 Finanční zhodnocení metody zesílení pomocí ocelové bandáže

Orientační cena osazení ocelových profilů je vytvořena editací (variantou) již existující položky z databáze cen stavebních prací. Jednotková cena navlhčení vnitřního povrchu se určí individuální kalkulaci dle vzorce (5.1), práci bude provádět omítkář třídy 6 s jednotkovou cenou 120 Kč/Nh při pracnosti 0,09 Nh:

$$JC = 0,02 + 120 * 0,09 + 0 + 10,8 * 0,35 + 14,58 * 0,42 + 14,58 * 0,17 + 23,18 * 0,09 = 25,30 \text{ Kč/m}^2.$$

Rovněž cena očištění povrchu stávajícího sloupu se určí individuální kalkulaci. Stávající povrch bude čistit stavební dělník třídy 4 s jednotkovou cenou 96,3 Kč/Nh při pracnosti 0,38 Nh:

$$JC = 0 + 96,3 * 0,38 + 0 + 36,59 * 0,35 + 49,4 * 0,42 + 49,4 * 0,17 + 78,55 * 0,09 = 85,60 \text{ Kč/m}^2.$$

Tab. 5.1 Ceny stavebních materiálů a prací metody zesílení pomocí ocelové bandáže pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Poř. č.	Popis	MJ	Množství	Cena/MJ Kč	Cena Kč
1.	Osazení ocelových profilů	t	0,1523	8984,07	1368,27
2.	Ocel pásová 60/6	t	0,0367	34900,23	1280,84
3.	Profil L 80/8	t	0,1156	29832,10	3448,59
4.	Navlhčení vnitřních povrchů	m <sup>2</sup>	3,6000	25,30	91,08
5.	Potažení oc. profilů rab. pletivem	m <sup>2</sup>	5,2800	108,00	570,24
6.	Omítka sloupů	m <sup>2</sup>	5,2800	404,00	2133,12
7.	Omítka sloupů pod úhelníky	m <sup>2</sup>	2,4000	224,50	538,80
8.	Očištění povrchu	m <sup>2</sup>	5,2800	85,60	451,97
9.	Lešení pomocné	m <sup>2</sup>	4,4640	135,50	604,87
10.	Otlučení stávající omítky	m <sup>2</sup>	5,2800	60,40	318,91
11.	Přesun hmot	t	0,6899	224,00	154,55
12.	Odvoz sutí	t	0,4858	262,50	127,51
13.	Vnitrostaveništní doprava sutí	t	0,4858	218,50	106,14
14.	Poplatek za skládku stavební sutí	t	0,4858	350,00	170,02
Cena celkem bez DPH			zaokrouhlo na koruny		<b>11365,00</b>

Orientační cena metody zesílení pomocí ocelové bandáže pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a výšce 3,0 m vychází na 11.365 Kč bez DPH.

## 5.2.2 Finanční zhodnocení technologie Helibeam

Jednotková cena na kalkulační jednotku aplikace tmele se určí individuální kalkulací, práci bude provádět samostatný stavební dělník třídy 6 s jednotkovou cenou 120 Kč/Nh při pracnosti 0,3 Nh:

$$JC = 0 + 120,0 * 0,3 + 5,0 + 36,0 * 0,35 + 53,6 * 0,42 + 53,6 * 0,17 + 85,22 * 0,09 = 92,90 \text{ Kč/m.}$$

Osazení výztuže bude taktéž provádět samostatný dělník třídy 6 s jednotkovou cenou 120 Kč/Nh při pracnosti 0,18 Nh:

$$JC = 0 + 120,0 * 0,18 + 0 + 21,6 * 0,35 + 29,16 * 0,42 + 29,16 * 0,17 + 46,36 * 0,09 = 50,50 \text{ Kč/m.}$$

Navlhčení drážky vodou bude vykonávat totožný samostatný dělník třídy 6 s jednotkovou cenou 120 Kč/Nh při pracnosti 0,04 Nh:

$$JC = 0,02 + 120,0 * 0,04 + 0 + 4,8 * 0,35 + 6,48 * 0,42 + 6,48 * 0,17 + 10,30 * 0,09 = 11,30 \text{ Kč/m.}$$

Vyškrábání a úpravu spár zdiva cihelného bude dělat stavební dělník třídy 4 s jednotkovou cenou 96,3 Kč/Nh při pracnosti 0,22 Nh:

$$JC = 0 + 96,3 * 0,22 + 0 + 21,19 * 0,35 + 28,6 * 0,42 + 28,6 * 0,17 + 45,47 * 0,09 = 49,60 \text{ Kč/m.}$$

U položek tyčová výztuž Helibeam a polymercementový tmel je k ceně pořízení, která byla získána od výrobce materiálu, připočtena cena pořizovacích nákladů.

Tab. 5.2 Ceny stavebních materiálů a prací metody zesílení pomocí technologie Helibeam pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Poř. č.	Popis	MJ	Množství	Cena/MJ Kč	Cena Kč
1.	Aplikace tmele	m	17,6000	92,90	1635,04
2.	Osazení výztuže	m	17,6000	50,50	888,80
3.	Tyčová výztuž Helibar ø 6	m	17,6000	139,62	2457,31
4.	Polymercementový tmel Helibond	kg	22,8518	263,12	6012,77
5.	Navlhčení drážky	m	17,6000	11,30	198,88
6.	Omítka sloupů	m <sup>2</sup>	5,2800	404,00	2133,12
7.	Očištění povrchu	m <sup>2</sup>	5,2800	85,60	451,97
8.	Lešení pomocné	m <sup>2</sup>	4,4640	135,50	604,87
9.	Otlučení stávající omítky	m <sup>2</sup>	5,2800	60,40	318,91
10.	Vyškrábání spár	m	17,6000	49,60	872,96
11.	Přesun hmot	t	0,4610	224,00	103,27
12.	Odvoz sutí	t	0,5034	262,50	132,13
13.	Vnitrostaveništní doprava sutí	t	0,5034	218,50	109,98
14.	Poplatek za skládku stavební sutí	t	0,5034	350,00	176,18
Cena celkem bez DPH			zaokrouhleno na koruny		<b>16096,00</b>



Orientační cena metody zesílení pomocí technologie Helibeam je 16.096 Kč bez DPH vztahujících se na zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m.

### 5.2.3 Finanční zhodnocení metody zesílení pomocí ECC kompozitu

U ECC kompozitu se v první fázi finančního zhodnocení zjistila cena čerstvé směsi pomocí individuální kalkulace. V rozboru položky beton, která se již nachází v databázi cen stavebních prací, je nahrazena stávající cena čerstvé betonové směsi za vykalkulovanou cenu ECC kompozitu.

Ostatní položky již byly převzaty z databáze cen stavebních prací. Seznam položek včetně jejich základních údajů jsou znázorněny v tab. 5.3. Celková cena je uvedena v korunách bez DPH zaokrouhlена na celé koruny. Tloušťka obetonované vrstvy ECC kompozitu je 60 mm.

Tab. 5.3 Ceny stavebních materiálů a prací metody zesílení pomocí ECC kompozitu pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Poř. č.	Popis	MJ	Množství	Cena/MJ Kč	Cena Kč
1.	ECC kompozit	m <sup>3</sup>	0,3600	8867,11	3192,16
2.	Bednění - zřízení	m <sup>2</sup>	6,7200	544,00	3655,68
3.	Bednění - odstranění	m <sup>2</sup>	6,7200	198,50	1333,92
4.	Penetrační nátěr	m <sup>2</sup>	5,2800	30,00	158,40
5.	Omítka sloupů	m <sup>2</sup>	5,2800	404,00	2133,12
6.	Očištění povrchu	m <sup>2</sup>	5,2800	85,60	451,97
7.	Lešení pomocné	m <sup>2</sup>	4,4640	135,50	604,87
8.	Otlučení stávající omítky	m <sup>2</sup>	5,2800	60,40	318,91
9.	Přesun hmot	t	1,3792	224,00	308,95
10.	Odvoz sutí	t	0,4858	262,50	127,51
11.	Vnitrostaveništní doprava sutí	t	0,4858	218,50	106,14
12.	Poplatek za skládku stavební sutí	t	0,4858	350,00	170,02
Cena celkem bez DPH		zaokrouhljeno na koruny			<b>12562,00</b>

Orientační cena metody zesílení pomocí ECC kompozitu je 12.562 Kč bez DPH a to pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m.

### 5.2.4 Finanční zhodnocení metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP

Jednotková cena položek aplikace tmele a osazení výztuže pro tyčovou výztuž, resp. lamely, je obdobná jako u technologie Helibeam a daný výpočet je uveden

v kapitole 5.2.2. Pro určení ceny specifikace položek uhlíková tyčová výztuž, resp. lamely či tkaniny, je cena pořízení materiálů zjištěna z (Ceník, 2010) vynásobena procentuální sazbou pořizovacích nákladů S4 ve výši 7,4 %, u lepicí hmoty a penetračního nátěru pak sazbou pořizovacích nákladů S4 ve výši 4 %. Jednotlivé ceny položek finančního zhodnocení jsou patrné z tab. 5.4. Jako u předešlých finančních zhodnocení, je výsledná cena uvedena v korunách bez DPH zaokrouhlena na celé koruny.

Tab. 5.4 Ceny stavebních materiálů a prací metody zesílení pomocí systému FRP – uhlíkové tyčové výztuže pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Poř. č.	Popis	MJ	Množství	Cena/MJ Kč	Cena Kč
1.	Aplikace tmele	m	17,6000	92,90	1635,04
2.	Osazení výztuže	m	17,6000	50,50	888,80
3.	Tyčová výztuž Carbopree $\varnothing$ 7	m	17,6000	408,12	7182,91
4.	Lepicí hmota Secan	kg	13,3760	301,60	4034,20
5.	Navlhčení drážky	m	17,6000	11,30	198,88
6.	Omítka sloupů	m <sup>2</sup>	5,2800	404,00	2133,12
7.	Očištění povrchu	m <sup>2</sup>	5,2800	85,60	451,97
8.	Lešení pomocné	m <sup>2</sup>	4,4640	135,50	604,87
9.	Otlučení stávající omítky	m <sup>2</sup>	5,2800	60,40	318,91
10.	Vyškrábání spár	m	17,6000	49,60	872,96
11.	Přesun hmot	t	0,4515	224,00	101,14
12.	Odvoz sutí	t	0,5034	262,50	132,13
13.	Vnitrostaveništní doprava sutí	t	0,5034	218,50	109,98
14.	Poplatek za skládku stavební sutí	t	0,5034	350,00	176,18
Cena celkem bez DPH				zaokrouhleno na koruny	<b>18841,00</b>

Orientační cena metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tyčové výztuže je 18.841 Kč bez DPH vztahujících se na zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m.

U metody zesílení pomocí kompozitního systému FRP – uhlíkové lamely je důležité důsledné očištění povrchu, např. omytím tlakovou vodou. Cena očištění povrchu stávajícího sloupu při současném omytí povrchu tlakovou vodou se určí individuální kalkulací. Čištění bude uskutečňovat stavební dělník třídy 4 s jednotkovou cenou 96,3 Kč/Nh při pracnosti 0,38 Nh:

$$JC = 6,37 + 96,3 * 0,38 + 14,44 + 36,59 * 0,35 + 63,84 * 0,42 + 63,84 * 0,17 + 101,50 * 0,09 = 117,00 \text{ Kč/m}^2.$$

Aplikaci penetračního nátěru bude vykonávat samostatný dělník třídy 6 s jednotkovou cenou 120 Kč/Nh při pracnosti 0,11 Nh:

$$JC = 0 + 120 * 0,11 + 0 + 13,2 * 0,35 + 17,82 * 0,42 + 17,82 * 0,17 + 28,33 * 0,09 = 30,90 \text{ Kč/m.}$$

Jednotlivé položky stavebních materiálů a prací včetně měrných jednotek, výměr a cen jsou vypsány v tab. 5.5.

Tab. 5.5 Ceny stavebních materiálů a prací metody zesílení pomocí systému FRP – uhlíkové lamely pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Poř. č.	Popis	MJ	Množství	Cena/MJ Kč	Cena Kč
1.	Aplikace tmele	m	12,3200	92,90	1144,53
2.	Osazení lamely	m	12,3200	50,50	622,16
3.	Aplikace penetračního nátěru	m <sup>2</sup>	1,8480	30,90	57,10
4.	Uhlíková lamela Carbopree 100/1,4	m	12,3200	1143,81	14091,74
5.	Lepicí hmota Secan	kg	5,1498	301,60	1553,18
6.	Penetrační nátěr Primer	kg	0,7392	410,80	303,66
7.	Omítka sloupů	m <sup>2</sup>	5,2800	404,00	2133,12
8.	Očištění povrchu	m <sup>2</sup>	5,2800	117,00	617,76
9.	Lešení pomocné	m <sup>2</sup>	4,4640	135,50	604,87
10.	Otlučení stávající omítky	m <sup>2</sup>	5,2800	60,40	318,91
11.	Přesun hmot	t	0,4434	224,00	99,32
12.	Odvoz sutí	t	0,4858	262,50	127,51
13.	Vnitrostaveništní doprava sutí	t	0,4858	218,50	106,14
14.	Poplatek za skládku stavební sutí	t	0,4858	350,00	170,02
Cena celkem bez DPH		zaokrouhleno na koruny			<b>21950,00</b>

Vypočtena orientační cena metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové lamely je 21.950 Kč bez DPH. Tato cena, jak je zřejmé z tab. 5.5, vychází přibližně 2 krát vyšší než tradiční způsob zesílení pomocí ocelové bandáže.

Uhlíková tkanina kompozitního materiálu FRP se aplikuje ve třech vrstvách. Na rozdíl od předešlých metod zesílení kompozitním materiálem FRP se u uhlíkové tkaniny používá jako lepicí hmota epoxidová pryskyřice. Jako penetrační nátěr je použit přípravek doporučený výrobcem kompozitního materiálu FRP. Výpočet použitých jednotkových cen na základě individuální kalkulace je uveden v předešlých částech. Jednotlivé položky finančního hodnocení jsou zřejmé z tab. 5.6.

Tab. 5.6 Ceny stavebních materiálů a prací metody zesílení pomocí systému FRP – uhlíkové tkaniny pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Poř. č.	Popis	MJ	Množství	Cena/MJ Kč	Cena Kč
1.	Aplikace tmele	m <sup>2</sup>	15,8400	92,90	1471,54
2.	Osazení tkaniny do tmele	m <sup>2</sup>	14,0800	50,50	799,92
3.	Aplikace penetračního nátěru	m <sup>2</sup>	2,1120	30,90	163,15
4.	Uhlíková tkanina Carbopree HM	m <sup>2</sup>	14,0800	1541,19	24412,45
5.	Penetrační nátěr Primer	kg	5,8854	410,80	867,61
6.	Lepicí hmota A Fip	kg	0,8448	353,60	4480,82
7.	Omítka sloupů	m <sup>2</sup>	5,2800	404,00	2133,12
8.	Očištění povrchu	m <sup>2</sup>	5,2800	117,00	617,76
9.	Lešení pomocné	m <sup>2</sup>	4,4640	135,50	604,87
10.	Otlučení stávající omítky	m <sup>2</sup>	5,2800	60,40	318,91
11.	Přesun hmot	t	0,4549	224,00	101,89
12.	Odvoz sutí	t	0,4858	262,50	127,51
13.	Vnitrostaveništní doprava sutí	t	0,4858	218,50	106,14
14.	Poplatek za skládku stavební sutí	t	0,4858	350,00	170,02
Cena celkem bez DPH		zaokrouhleno na koruny			<b>36376,00</b>

Vypočtena orientační cena metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tkaniny je 36.376 Kč bez DPH. Tato cena, jak je zřejmé z tab. 5.6, vychází přibližně 3 krát vyšší než tradiční způsob zesílení pomocí ocelové bandáže. Při aplikaci 2 vrstev uhlíkové lamely by celková cena stavebních materiálů a prací činila 25.986 Kč bez DPH. Pokud by se aplikovala jenom 1 vrstva uhlíkové tkaniny, cena pak vychází na 15 597 Kč bez DPH.

### 5.2.5 Porovnání jednotlivých metod zesílení

V předcházejících podkapitolách jsou vypočteny ceny stavebních materiálů a prací pro realizaci jednotlivých metod zesílení a souhrnné výsledky jsou uvedeny v následující tab. 5.7. Vzájemné porovnání metod zesílení je vypracováno na základě celkové ceny realizace a bodově zhodnoceny podle pořadí od 1 do 6, kde 1 znamená cenu nejvyšší a 6 cenu nejvyšší.

Tab. 5.7 Vzájemné porovnání cen stavebních materiálů a prací jednotlivých metod zesílení pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Ocelová bandáž	Technologie Helibeam	ECC kompozit	FRP tyčová výztuž	FRP lamela	FRP tkanina
11365 Kč	16096 Kč	12562 Kč	18841 Kč	21950 Kč	36376 Kč
1.	3.	2.	4.	5.	6.

Z porovnání jednotlivých metod vyplývá, že nejlevnější způsob zesílení zděného sloupu je tradiční metoda zesílení zděného sloupu pomocí ocelové bandáže a o něco dražší je metoda zesílení pomocí ECC kompozitu. Aplikace tyčových nerezových výztuží pak vychází 16.096 Kč bez DPH, resp. uhlíkové tyčové výztuže 18.841 Kč bez DPH. Nejdražší jsou pak metody založené na FRP kompozitním materiálů.

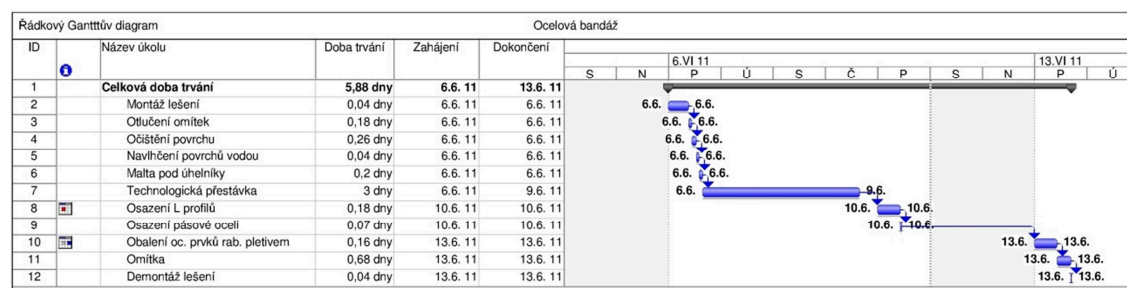
### 5.3 Časové zhodnocení jednotlivých metod zesílení

Pro časové zhodnocení jednotlivých metod zesílení zděného sloupu (pro tvorbu časového plánu) je použit systém MS PROJECT verze 2007. Časový plán je nakonec s ohledem na konkrétní realizační podmínky upraven z hlediska technologického, aby jednotlivé stavební procesy na sebe vzájemně logicky a časově navazovaly.

Časové zhodnocení jednotlivých metod zesílení stejně jako finančního zhodnocení je prováděno na zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m. Směnový časový fond s, resp. počet pracovních hodin ve směně, je 8 hodin/1 den. Datum zahájení realizace sanace zděného sloupu je stanoveno na pondělí 6. 6. 2011. Zjednodušené výstupy ve formě Ganttova diagramu jsou patrné v jednotlivých podkapitolách časového zhodnocení.

#### 5.3.1 Časové zhodnocení metody zesílení pomocí ocelové bandáže

Pro metodu zesílení pomocí ocelové bandáže je uvažováno s 1 samostatným pracovníkem, kromě montáže a demontáže lešení a osazení ocelových prvků, kdy se počítá se 2 pracovníky, resp. se 3 pracovníky. Z obr. 5.1 je patrná návaznost jednotlivých stavebních procesů (činností).

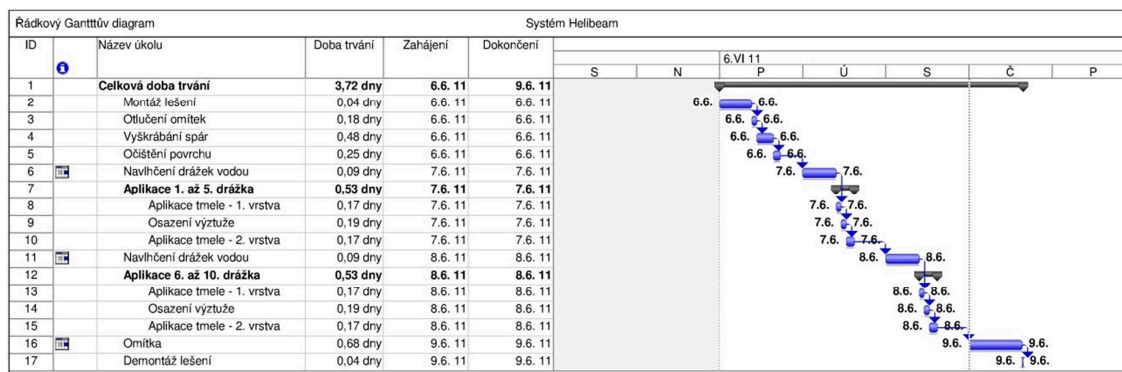


Obr. 5.1 Doba trvání metody zesílení pomocí ocelové bandáže pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Jak je zřejmé z obr. 5.1, doba trvání metody zesílení pomocí ocelové bandáže vychází na 5,88 pracovních dnů. Při uvažování i nepracovních dnů je pak doba trvání 7,88 dnů.

### 5.3.2 Časové zhodnocení technologie Helibeam

U technologie Helibeam se taktéž primárně uvažuje s 1 samostatným pracovníkem. Montáž a demontáž lešení pak provádějí 2 pracovníci. Samotná aplikace vyztužujícího materiálu je z časového hlediska rozdělena na 2 dny: první den se provede aplikace 1 až 5 drážky, druhý den potom zbytek drážek, tj. 6 až 10 drážka. Navlhčení drážky se bude provádět postupně před aplikací ztužujícího materiálu na konkrétní drážce.

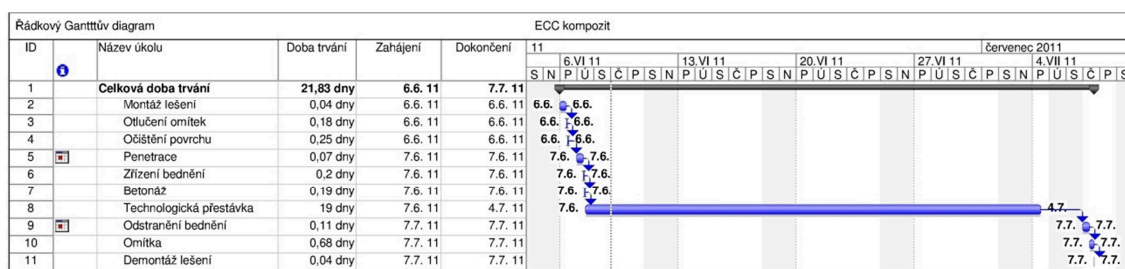


Obr. 5.2 Doba trvání metody zesílení pomocí technologie Helibeam pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Celková doba trvání metody zesílení pomocí technologie Helibeam je zobrazena na obr. 5.2 je 3,72 dnů.

### 5.3.3 Časové zhodnocení metody zesílení pomocí ECC kompozitu

Pro samotnou betonáž kompozitního materiálu ECC jsou navrženi 2 pracovníci, taktéž i pro stavební procesy montáže a demontáže lešení a bednění. Po betonáži kompozitního materiálu ECC je nutno dodržet technologickou přestávku odpovídající 19 pracovním dnům, což je 28 pracovních i nepracovních dnů. Rozbor normy spotřeby betonáže ECC kompozitu je upravena tak, že je nahrazena norma spotřeby míchání čerstvé betonové směsi normálního betonu normou spotřeby času míchání ECC kompozitu. Doba trvání míchání ECC kompozitu činí 24 minut, což odpovídá 0,4 Nh.

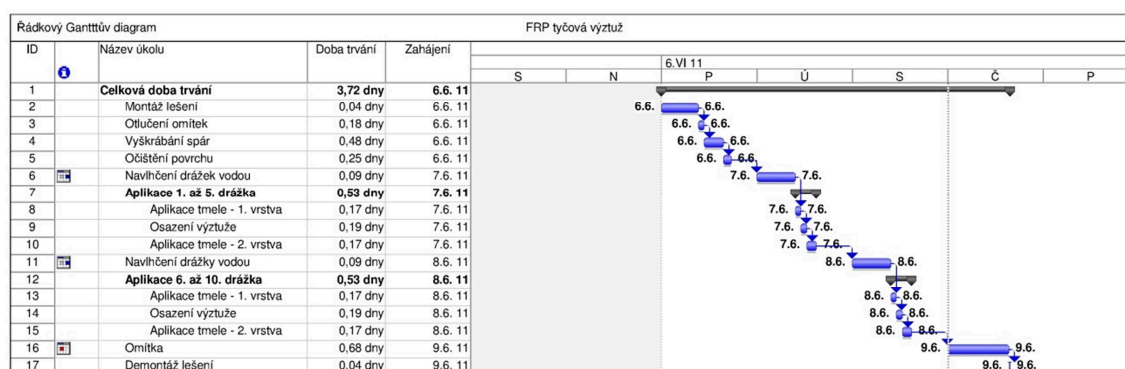


Obr. 5.3 Doba trvání metody zesílení pomocí ECC kompozitu pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Z výstupu ze systému MS PROJECT, viz obr. 5.3, je patrná celková doba trvání stavebních činností metody zesílení pomocí ECC kompozitu 21,83 pracovních dnů, což odpovídá 31,83 dnům včetně nepracovních sobot, neděl a státních svátků.

### 5.3.4 Časové zhodnocení metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP

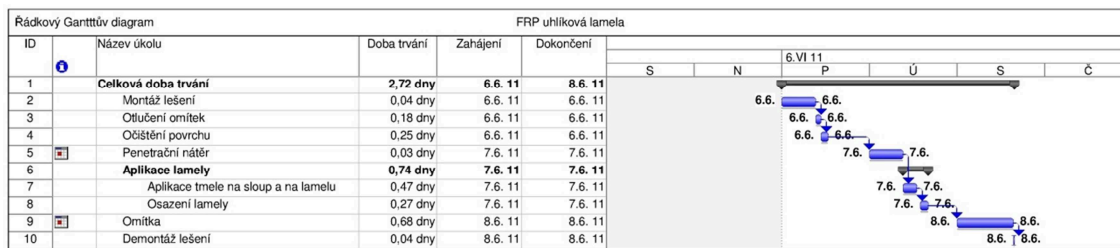
Vstupní údaje pro určení doby trvání metody zesílení pomocí kompozitního systému FRP – uhlíkové tyčové výztuže jsou stejné jako u technologie Helibeam, tzn. že primárně je pro zesilování uvažováno s 1 samostatným pracovníkem. Pro montáž a demontáž lešení pak je počítáno se 2 pracovníky. Samotná aplikace vyztužujícího prvku je taktéž z technologického hlediska rozdělena na 2 dny: první den se provede drážka 1 až 5 a druhý den drážka 6 až 10 viz obr. 5.4.



Obr. 5.4 Doba trvání metody zesílení pomocí systému FRP - uhlíkové tyčové výztuže pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Z obr. 5.4 pak můžeme zjistit celkovou dobu trvání metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tyčové výztuže a to 3,72 dnů.

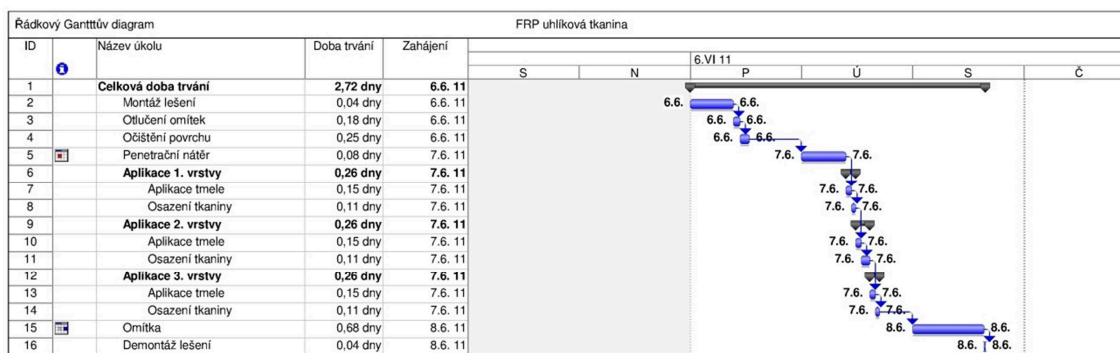
Aplikaci uhlíkové lamely může provádět 1 samostatný pracovník, montáž a demontáž lešení pak 2 pracovníci. Samotná příprava povrchu sloupu se uskutečňuje první den a následující den se aplikuje samotná uhlíková lamela, jak je zřejmé z obr. 5.5.



Obr. 5.5 Doba trvání metody zesílení pomocí systému FRP – uhlíkové lamely pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Z obr. 5.5 vyplývá celková doba trvání metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové lamely a to 2,72 dnů.

Aplikace uhlíkové tkaniny se provádí ve 3 vrstvách. Samotnou aplikaci provádějí 2 pracovníci. Nejprve se sloup natře penetračním nátěrem a následně se realizují 3 vrstvy uhlíkové tkaniny. Při zachování stejného směru postupu aplikace uhlíkové tkaniny je dodržena technologická přestávka o délce trvání minimálně 15 minut, která proto není zahrnuta do řádkového diagramu.



Obr. 5.6 Doba trvání metody zesílení pomocí systému FRP – uhlíkové tkaniny pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Celková doba trvání zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tkaniny je patrná z obr. 5.6 a činí 2,72 dnů.



### 5.3.5 Porovnání doby realizace jednotlivých metod zesílení

V předcházejících podkapitolách finančního zhodnocení jsou vypočteny doby realizace (trvání) jednotlivých metod zesílení a souhrnné výsledky jsou uvedeny v tab. 5.8 včetně vzájemného porovnání. Do celkových dob trvání jsou započteny i nepracovní dny.

Jednotlivé porovnávané metody jsou ohodnoceny hodnotou od 1 do 6, kde 1 znamená nejrychlejší metodu a 6 metodu nejdéle trvající.

Tab. 5.8 Vzájemné porovnání doby realizace jednotlivých metod zesílení pro zděný sloup o půdorysných rozměrech 440 x 440 mm a o výšce 3,0 m

Ocelová bandáž	Technologie Helibeam	ECC kompozit	FRP tyčová výztuž	FRP lamela	FRP tkanina
7,88 dnů	3,72 dnů	31,83 dnů	3,72 dnů	2,72 dnů	2,72 dnů
5.	3.	6.	3.	1.	1.

Jak je patrné ze souhrnných výsledků, nejrychlejší realizované metody zesílení jsou metody založené na kompozitním materiálu FRP a to uhlíková lamela a tkanina.

O jeden den delší dobu realizace zesílení mají metody zesílení pomocí tyčových výztuží a to metoda zesílení pomocí technologie Helibeam a metoda zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíková tyčová výztuž.

Nejdelší doba trvání vychází u metody zesílení pomocí ECC kompozitu z důvodu technologické přestávky nutné pro zatvrdnutí kompozitu. Technologickou přestávku by bylo možné zkrátit dle konkrétních klimatických podmínek prostředí, ve kterém se sanovaný sloup nachází. Celková technologická přestávka by ale neměla být kratší než 10 dnů. U metody zesílení pomocí ocelové bandáže je uvažováno s technologickou přestávkou pro zatvrdnutí cementové malty o délce trvání 3 dny. Při uvažování technologické přestávky o době trvání 28 dnů by celková doba trvání vycházela přibližně totožná s metodou zesílení pomocí ECC kompozitu.

## **6 Závěry pro realizaci v praxi a doporučení pro další postup ve výzkumu**

### **6.1 Závěry pro realizaci v praxi**

Disertační práce je rozdělena na dvě stěžejní části. První část se zabývá statickým hodnocením jednotlivých metod zesílení zděného sloupu. Druhá část se zabývá technologickým posouzením daných metod zesílení a to z pohledu finančního a časového.

#### **6.1.1 Statické posouzení jednotlivých metod zesílení**

Porovnání jedné vybrané tradiční metody zesilování zděného prvku (metody zesílení ocelovou bandáží) s novými inovačními materiály a technologiemi se provádělo na zděném sloupu o půdorysných rozměrech 290 x 290 mm, 440 x 290 mm, 440 x 440 mm a o výšce 3000 mm. Současně bylo pro vzájemné porovnání jednotlivých metod zesílení provedeno posouzení samotného nezesíleného zděného sloupu. Ze souhrnných výsledků vyplývá, že nejvhodnější metody pro zesílení zděného sloupu namáhaného normálovou silou jsou tradiční metoda zesílení pomocí ocelové bandáže a metoda zesílení pomocí ECC kompozitu. U obou metod dochází k výraznému poklesu tahového napětí v maltě ve směru osy x a deformace sloupu ve směru osy x. U metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové tkaniny se snížila deformace sloupu ve směru osy x, ale současně došlo k nárůstu tahového napětí ve styčných maltových spárách ve směru osy x. Při použití tyčových výztužných profilů deformace sloupu ve směru osy x přibližně odpovídá samotnému nezesílenému zděnému sloupu. U tahového napětí v maltě pak dochází k nárůstu napětí. U metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP – uhlíkové lamely se projevují nejen výrazné lokální tahové napětí v maltě ve směru osy x, ale i z toho vyplývající deformace sloupu ve směru osy x.

Dle závěrečného statického posouzení vychází, že metody zesílení pomocí kompozitního materiálu FRP (uhlíkové tyčové výztuže, uhlíkové lamely) a metoda zesílení pomocí technologie Helibeam nejsou vhodné pro zesilování zděných sloupů či pilířů.

#### **6.1.2 Technologické posouzení jednotlivých metod zesílení**

Z finančního hlediska je nejlevnější tradiční metoda zesílení pomocí ocelové bandáže. O něco dražší vychází metoda zesílení pomocí ECC kompozitu.

Nejdražší metody pro zesilování zděného sloupů jsou metody založené na kompozitním materiálu FRP a to uhlíková tyčová výztuž, následně pak uhlíková lamela a uhlíková tkanina.

Z časového hlediska jsou nejrychleji realizované metody zesílení založené na kompozitním materiálu FRP a to uhlíková lamela a tkanina. O jeden den déle vychází doba trvání u tyčových výztužných profilů – technologie Helibeam a uhlíkové tyčové výztuže. Následuje metoda zesílení pomocí ocelové bandáže. Nejdelší dobu trvání se dosahuje při realizaci ECC kompozitu z důvodu technologické přestávky nutné pro zatvrdnutí kompozitu.

## **6.2 Doporučení pro další postup ve výzkumu**

V další fázi výzkumu a vývoje je možné zaměřit se na tyto okruhy problémů:

- ověření zvoleného výpočtového modelu pomocí experimentálních zkoušek na nezesíleném zděném sloupu či pilíři,
- na základě experimentálního výzkumu vytvoření výstižného výpočtového modelu zděného sloupu či pilíře s uvažováním vlivu vzpěru,
- porovnání jednotlivých metod zesílení zděného sloupu či pilíře na zkušebních tělesech a srovnání s numerickými výsledky modelování,
- vytvoření návrhových vztahů pro analytický výpočet jednotlivých metod zesílení zděného sloupu či pilíře.

## 7 Literatura

- Ansys, Inc. 2010. *ANSYS Mechanical APDL Programmer's Manual : Release 13* [online]. Canonsburg : Southpointe, 11.2010 [cit. 2011-07-15]. Dostupné z WWW: <[http://www1.ansys.com/customer/content/documentation/130/ans\\_prog.pdf](http://www1.ansys.com/customer/content/documentation/130/ans_prog.pdf)>.
- Ceník : *Kompozitní systémy Carbopree a Glasspree*. 2010. Ostrava : Minova Bohemia s.r.o., 2010. 2 s.
- KOLÍSKO, Jiří. 2008. *Vliv krátkých všesměrně rozptýlených polypropylénových mikro a makrovláken na vlastnosti cementových malt a betonů*. Praha : ČVUT, 2008. 24 s., ISBN 978-80-01-04072-0.
- Kompozitní výztuže Prefa Rebar*. 2009. Brno : Prefa Kompozity a.s, 2009-01-27. 4 s.
- LI, Victor C. 2008. *Concrete Construction Engineering Handbook*. Second Edition. Rutgers University, Piscataway, New Jersey, USA. Boca Raton : CRC Press, 2008. Engineered Cementitious Composite (ECC): Material, Structural, and Durability Performance, s. 1024-1069. ISBN 9780849374920.
- MYNARZOVÁ, Lucie. 2009. *Statická analýza konstrukcí zděných staveb*. Ostrava, 2009. Disertační práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- SOLAŘ, Jaroslav. 2008. *Poruchy a rekonstrukce zděných staveb*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2008. 192 s. ISBN 978-80-247-2672-4.
- ŠILHAN, Ondřej. 2009. Příklady využití dodatečné lepené syntetické FRP výztuže v pozemním stavitelství. *Sborník příspěvků 14. mezinárodního semináře : Zpevnování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2009, Ostrava, 19. – 20. února 2009*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, 2009, s. 327-330. ISBN 978-80-248-1958-7.
- ÚRS PRAHA a.s. 2009. *Rozpočtování a oceňování stavebních prací*. Praha : ÚRS PRAHA, a.s., 2009. 210 s. ISBN 978-80-7369-239-1.
- VEJRAŽKOVÁ, Ivana. 2008. *IMateriály* [online]. 2008-5-27 [cit. 2011-04-04]. Plasty pro stavebnictví a architekturu 7 – Polymerní vláknové kompozity. Dostupné z WWW: <<http://www.imaterialy.cz/Materialy/Plasty-pro-stavebnictvi-aarchitekturu-7-Polymerni-vlaknove-kompozity.html>>.
- VOREL, Jan; SÝKORA, Jan. 2007. Experimentální a numerická identifikace materiálových parametru zdiva. In *9. Odborná konference doktorského studia Juniorstav, Brno, 24. ledna 2007*. Brno : Fakulta stavební VUT, 2007. ISBN 978-80-214-3337-3.
- WILLAM, Kaspar J.; WARNKE, E. P. 1975. *Constitutive models for the triaxial behavior of concrete*. Proceedings of the International Assoc. for Bridge and Structural Engineering. 1975, vol 19, pp. 1- 30.
- WITZANY, Jiří. 1990. *Konstrukce pozemních staveb – rekonstrukce a poruchy staveb II*. Praha : ČVUT, 1990. ISBN 80-01-00349-3.

## Seznam vlastních publikací autora

1. ORAVEC, Pavel; JAŠEK, Marek. Změna polohy výplní stavebních otvorů při zateplování. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební*, 2010, roč. 10, č. 1. Ostrava : VŠB-TUO, 2010, s. 85-92. ISBN 978-80-248-2332-4. ISSN 1213-1962.
2. JAŠEK, Marek, et al. *Příprava a provádění staveb*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební. 10.3 Software pro přípravu a řízení výrobního procesu výstavby, 2009, s. 131-139. ISBN 978-80-248-2152-8.
3. ORAVEC, Pavel; JAŠEK, Marek. Osazení výplní otvorů při zateplování. *In Juniorstav 2009, Brno, 4. února 2009*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2009, s. 56. ISBN 978-80-214-3810-1.
4. JAŠEK, Marek; ORAVEC, Pavel. Sanace vnější železobetonové vrstvy panelu dodatečným přikotvením. *In Juniorstav 2009, Brno, 4. února 2009*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2009, s. 29. ISBN 978-80-214-3810-1.
5. ORAVEC, Pavel; JAŠEK, Marek. Efficiency of various approaches used in the installation of doors and windows. *In Mladý vedec 2009*. Košice : TU Košice, 2009. ISBN 978-80-553-0176-1.
6. ORAVEC, Pavel; JAŠEK, Marek. Aplikace osazení oken u vícevrstevných plášťů. *Materiály pro stavbu*, 4/2009, Praha : Springer media CZ, 2009, s. 40- 43. ISSN 1213-0311.
7. VLČEK, Pavel; JAŠEK, Marek; ČMIELOVÁ, Renáta. Návrh dřevostavby, projekt a skutečnost. *In Dřevostavby, vědecká konference s mezinárodní účastí, Oščadnica, 10.-11. června 2009*. Žilina : TU Žilina, 2009, s. 179-184. ISBN 978-80-970171-0-1.
8. JAŠEK, Marek; ORAVEC, Pavel. Regenerace vnější železobetonové vrstvy panelu. *Materiály pro stavbu*, 9/2009, Praha : Springer media CZ, s.r.o., 2009, s. 36- 37. ISSN 1213-0311.
9. JAŠEK, Marek. Sanace balkónu panelového domu T 06 B. *In 10. Odborná konference doktorského studia Juniorstav, Brno, 23. ledna 2008*. Brno : Fakulta stavební VUT, 2008, s. 35. ISBN 978-80-86433-45-5.
10. JAŠEK, Marek. Zesílení oslabeného meziotvorového pilíře. *Jevy, konání a díla*, 2008, roč. 8, č. 1.4. Ostrava : Český svaz stavebních inženýrů. Kpt. Vajdy 2, Hotel Vista, 700 30 Ostrava - Zábřeh, 2008, s. 1-4. ISSN 1213-4112.
11. ORAVEC, Pavel; JAŠEK, Marek. Regenerace domu T 06B-BTS od projektu k realizaci. *In Poruchy a rekonštrukcie obvodových plášťov a striech, Podbanské, 8.-10. dubna 2008*. Košice : Technická univerzita, 2008, s. 151-156. ISBN 978-80-232-0290-8.

12. JAŠEK, Marek. Obnova balkónu s aplikací helikální výztuže. *Materiály pro stavbu*, 2008, roč. 14, č. 5. Business Media CZ, s. r. o., Nádražní 32, 150 00 Praha 5, 2008, s. 48-50. ISSN 1213-0311.
13. JAŠEK, Marek. Dodatečné přikotvení vnější železobetonové vrstvy panelu u soustavy P 1.11. In *Poruchy a rekonstrukce, Ostrava, 16. listopadu 2008*. Ostrava : Fakulta stavební VŠB-TU, 2008, s. 27. ISBN 978-80-248-1886-3.
14. ORAVEC, Pavel; JAŠEK, Marek. Uspořádání osazení výplní stavebních otvorů při zateplování. Číslo ochranného dokumentu 18847, číslo přihlášky 2008-20118, datum zápisu 28.8.2008, MPT E 06 B 1/62, E 06 B 3/263. Užitiný vzor.
15. ORAVEC, Pavel; JAŠEK, Marek. Ev.č.: 003/28-05-2008\_F Osazení výplní otvorů při zateplování na vnější líc nosné konstrukce, 2008, VŠB-TUO. Funkční vzorek.

Autor: Marek Jašek  
Katedra, Institut: Katedra pozemního stavitelství (225)  
Název publikace: Posouzení nových materiálů a technologií pro zesilování zděných konstrukcí  
Počet stran: 41  
Místo, rok, vydání: Ostrava, 2011  
Vydala: VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
Tisk: Fakulta stavební VŠB-TU Ostrava  
Náklad: 25 ks  
ISBN: 978-80-248-2469-7